

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**  
**Univerzitní studijní programy**

**Sestavení funkční koncepce a vývoj aplikačního software  
elektrohydraulického systému brzd elektromobilu Democar**

**Assembling Functional Conception and Development of  
the Application Software for Electrohydraulic Brakes System of  
the Electric Vehicle Democar**

**Student: Bc. Samuel Przeczek**

**Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Šimoník, Ph.D.**

**Ostrava 2015/2016**

## Zadání diplomové práce

Student:

**Bc. Samuel Przeczek**

Studijní program:

N3943 Mechatronika

Studijní obor:

3906T007 Automobilová elektronika

Téma:

Sestavení funkční koncepce a vývoj aplikačního software  
elektrohydraulického systému brzd elektromobilu Democar  
Assembling Functional Conception and Development of the Application  
Software for Electrohydraulic Brakes System of the Electric Vehicle  
Democar

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Na základě specifikace vedoucího diplomové práce a s ohledem na konkrétní případ šasi vozidla proveďte teoretický návrh celkové koncepce brzdové soustavy pro dané vozidlo s elektrickým pohonem. Návrh koncipujte jako vývojový prototyp s možností inovací řídicího software.
2. Dle stanovených parametrů prakticky realizujte vývojovou strukturu brzdové soustavy včetně řídicího hardware.
3. Na realizované struktuře brzdové soustavy proveďte vývoj softwarové řídicí aplikace.
4. Prakticky aplikujte vyvinutá řešení a experimentálně ověřte jejich funkčnost.

Seznam doporučené odborné literatury:

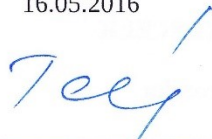
- [1] ERJAVEC, J.: Automotive Technology: A Systems Approach, 4th Edition, USA 2004, Thomson Learning, 1401 p., ISBN 1-4018-4831-1
- [2] RIBBENS, B., W.: Understanding Automotive Electronics, Sixth Edition, USA 2003, Elsevier Science, 480 p., ISBN 0-7506-7599-3
- [3] DENTOM, T.: Automotive Technology: Advanced Automotive Fault Diagnosis, 2th Edition, USA 2004, Butterworth-Heinemann Ltd. 2006, 288 p., ISBN 0-7506-6991-8
- [4] Robert Bosch GmbH: Bosch Yellow Jackets Series, Bosch Technical Literature, 1996-2014
- [5] Stockel, W., M., Stockel, T., M., Johanson, Ch.: Auto Diagnosis, Service, and Repair, 7th Edition, Goodheart-Willcox, USA 2003, 1024 p., ISBN 978-1566379106
- [6] Dentom, T.: Automotive Technology: Advanced Automotive Fault Diagnosis, 2th Edition, USA 2004, Butterworth-Heinemann Ltd. 2006, 288 p., ISBN 0-7506-6991-8

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Šimoník, Ph.D.**

Datum zadání: 20.10.2015

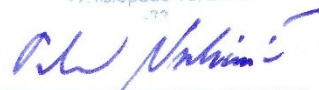
Datum odevzdání: 16.05.2016



---

doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.  
vedoucí katedry

VYSOKÁ ŠKOLA BAŇSKÁ  
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA  
708 33 Ostrava-Poruba  
17. listopadu 15/2172



---

prof. Ing. Petr Noskievič, CSc.  
prorektor pro studium

## **Místopřísežné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením  
Ing. Petra Šimoníka, Ph.D. a uvedl jsem v seznamu literatury všechny použité literární  
prameny a zdroje, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 19. 5. 2016

.....  
Samuel Przeczek

## Prohlašuje, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 19. 5. 2016

Samuel Przeczek

Jméno a příjmení autora práce: Samuel Przeczek

Adresa trvalého pobytu autora práce: Dolní Domaslavice 309, 739 38

## **Poděkování**

Děkuji především panu Ing. Petru Šimoníkovi, Ph.D. za poskytnuté konzultace při přípravě této diplomové práce. Děkuji i svým kolegům Bc. Ondřeji Wolfovi, Bc. Davidu Dulanskému a Bc. Petru Belobradovi za rady a čas strávený při vytváření vzájemně spolupracujících systémů vozidla DemoCar. Děkuji i své ženě Bc. Lucii Przeczkové, DiS. za podporu a textovou korekturu této práce.

## **Anotace**

Przeczek, S.: *Sestavení funkční koncepce a vývoj aplikačního software elektrohydraulického systému brzd elektromobilu DemoCar*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Univerzitní studijní programy, 2016, 56 stránek. Diplomová práce. Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Šimoník, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá sestavení funkční koncepce a vývoj aplikačního software elektrohydraulického systému brzd elektromobilu Democar. Součástí řešení je praktická realizace řídicí jednotky brzd a brzdové soustavy vozidla DemoCar. V úvodní části je provedena analýza asistenčního systému ABS s ohledem na využití tohoto modulu pro zástavbu ve vozidle DemoCar. Součástí je také popis vzájemné spolupráce jednotlivých elektronických systémů vozidla. Část teoretického návrhu se zabývá koncepčním řešením celého elektrohydraulického brzdového systému, výběrem komponent brzdového systému, jejich analýzou a dále návrhem řídicí jednotky, tzv. BCU. Kapitola realizace popisuje vývoj softwarové části a realizaci hardware. V závěru práce je popsáno experimentální ověření funkčnosti realizovaného systému.

## **Klíčová slova**

CAN, elektromobil, mikrokontrolér, řídicí jednotka, ABS, brzdy, ABS/ASR/ESP modul, asistenční systémy, C/C++. MQX, TWR-PXS20, aplikační software

## **Annotation**

Przeczek, S.: *Assembling Functional Conception and Development of the Application Software for Electrohydraulic Brakes System of the Electric Vehicle Democar*. Ostrava: VSB – Technical University of Ostrava, University study programmes, 2016, 56 pages. Diploma thesis. Thesis head: Ing. Petr Šimoník, Ph.D.

This thesis describes the assembly functional concept and the development of application software electrohydraulic brake system of the electric vehicle DemoCar. Part of the solution is the practical realization of the brake control unit and brake system of the vehicle DemoCar. The introductory part analyzes ABS assistance system with regard to the use of this module for installations in a vehicle DemoCar. Also included is a description of the mutual cooperation between electronic systems of the vehicle. Theoretical part is deals with the conceptual solutions of the electro hydraulic brake system, selection of brake system components, their analysis and design of the control unit, called BCU. Chapter realization describes the development of software and implementation of hardware. In conclusion is described experimental verification of the implemented system.

## **Keywords**

CAN bus, electric vehicle, microcontroller, control unit, ABS, brake system, ABS/ASR/ESP module, assistance system, C/C++, MQX, TWR-PXS20, application software



# Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů .....	- 11 -
1 Úvod .....	- 12 -
1.1 Druhy brzd .....	- 12 -
1.2 Brzdový systém .....	- 13 -
1.3 Rozdělení brzdových soustav .....	- 14 -
1.4 Asistenční systémy .....	- 14 -
1.5 Brzdové kapaliny .....	- 15 -
2 Systém ABS .....	- 16 -
2.1 Historie ABS .....	- 16 -
2.2 ABS 9 .....	- 16 -
2.3 Řídicí jednotka .....	- 17 -
2.4 Hydraulický modulátor .....	- 18 -
2.5 Snímače .....	- 20 -
3 Elektronické systémy vozidla DemoCar .....	- 21 -
3.1 Předchozí řešení BCU .....	- 23 -
4 Návrh elektro - hydraulického systému brzd .....	- 25 -
4.1 Teoretický návrh .....	- 25 -
4.2 Výběr ABS/ASR/ESP modulu .....	- 26 -
4.3 Analýza ABS/ASR/ESP modulu .....	- 26 -
4.4 Testování komponent .....	- 28 -
4.5 Hydraulické hadice a brzdová kapalina .....	- 30 -
4.6 Kotoučové brzdy .....	- 31 -
4.7 Požadavky na BCU .....	- 31 -
4.8 Blokové schéma BCU .....	- 33 -
4.9 Nouzová brzda .....	- 33 -

5	Realizace elektro – hydraulického systému brzd .....	- 37 -
5.1	Tower systém PXS20 .....	- 37 -
5.2	Operační systém reálného času MQX.....	- 37 -
5.3	SW řešení .....	- 38 -
5.4	HW řešení.....	- 45 -
5.5	Ověření funkce .....	- 50 -
6	Závěr.....	- 54 -
	Použitá literatura .....	- 55 -
	Seznam příloh .....	- 56 -

---

## Seznam použitých zkratek a symbolů

ABS	anti-lock brake system (protiblokovací systém)	
ASR	anti-slip regulation (protiprokluzový systém)	
BCU	brake control unit (řídící jednotka brzd)	
BGA	ball grid array (typ pouzdra integrovaných obvodů)	
CANabs	CAN sběrnice mezi BCU a ABS/ASR/ESP modulu	
CANcontrol	hlavní CAN sběrnice vozidla DemoCar	
CCU	central control unit (centrální řídící jednotka)	
DC	direct current (stejnoseměrný proud, napětí)	
DCU	drive control unit (řídící jednotka pohonu)	
DOT	Department of Transportation	
EHK	Evropská hospodářská komise	
EMCU	electro management control unit (řídící jednotka napájení)	
ESP	electronic stability system (el. stabilizační program)	
GND	ground (nulový potenciál - zem)	
HSV	high pressure switch valve (sací ventil)	
JTAG	joint test action group (programovací konektor)	
LCU	light control unit (řídící jednotka světel)	
MCU	micro controller unit (mikroprocesorová jednotka)	
MQX	message queue executive (ozačení operačního systému)	
MSR	motor schleppmoment regelung (regulace prokluzu)	
NBR	nitrile rubber (pryžové těsnění)	
PC	personal computer (osobní počítač)	
RTOS	real time operating system (operační systém reálného času)	
ŘJ	řídící jednotka	
SCU	steering control unit (řídící jednotka servořízení)	
TCV	traction control valve (přepouštěcí ventil)	
SMD	surface mount device (typ součástek)	
$d$	průměr	[m]
$f$	frekvence	[Hz]
$m$	hmotnost	[kg]
$n$	otáčky	[ot/min]
$p$	tlak	[Pa, bar]
$T$	perioda	[s]
$v$	rychlost	[m·s <sup>-1</sup> ]

---

# 1 Úvod

V automobilovém průmyslu hrají důležitou roli dva pojmy: bezpečnost a spolehlivost. U brzdových systémů jsou obzvláště důležité. V případě selhání se stává automobil nebezpečným pro osoby uvnitř vozu, ale také pro ostatní účastníky silničního provozu. Proto je důležité tyto závady diagnostikovat a odstranit před jejich samotným vznikem.

Brzdová soustava zajišťuje zpomalení a také blokuje samovolný pohyb vozidla. Brzdové soustavy pracují na principu zvětšování odporu tření. Při brzdění vozidla se snižuje pohybová energie, která se přeměňuje na teplo a uniká do okolí. Konkrétní požadavky pro brzdovou soustavu jsou sespsány v předpisu EHK.

S rozšiřující oblibou elektromobility vznikl na VŠB – TU Ostrava projekt vozidla poháněného elektrickým pohonem. Tento projekt slouží pro popularizaci a prezentaci oboru Automobilová elektronika. Do jeho realizace se zapojují studenti, kteří v jeho rámci tvoří své bakalářské a diplomové práce. Výstupem těchto prací je aktivní vývoj a realizace nových systémů nebo zdokonalování současných.

V následujících podkapitolách je uveden stručný popis brzdových systémů, jejich komponent a asistenčních systémů.

## 1.1 Druhy brzd

**Špalíková brzda** – u této konstrukce vzniká brzdný účinek přitlačením brzdového špalíku (zdrže) na povrch pohybujícího se dílu. Brzdový špalík třením odebrává pohybujícímu se dílu kinetickou energii, která se mění v teplo a je nutné ji odvádět. Brzdový špalík je tvarově shodný s brzděným protikusem pro co největší styčnou plochu. Brzděním se špalík obrušuje. Tento typ se používá u kočárů, zemědělských povozů, ale i u kolejových vozidel.

**Pásová brzda** – obsahuje pás, který obepíná brzděný buben a vyvolává tření. Používá se častěji u pevných zařízení – jeřáby, motorové pily, lanové dráhy a jako parkovací brzda u motorových vozidel. Tento typ brzdy použil v roce 1902 Ranson E. Olds.

**Bubnová brzda** – tento typ brzdy se skládá z brzdového bubnu, brzdové čelisti, štítu brzdy, rozpěrného mechanismu a vratných pružin. Brzdové čelisti uvnitř brzdového bubnu působí na jeho vnitřní plochu pro vytvoření brzdového účinku. Vynalezl ji roku 1902 Louis Renault.

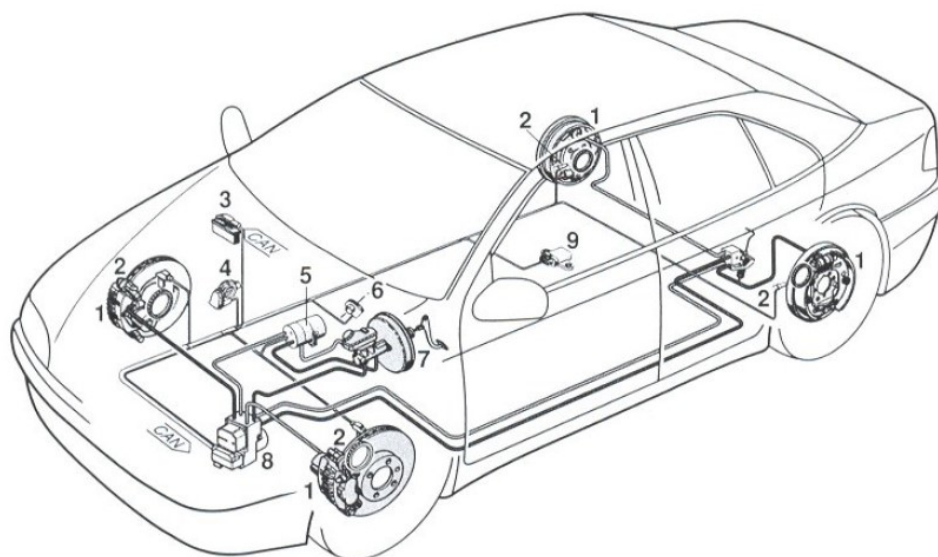
**Kotoučová brzda** – hlavní součásti: kotouč, brzdový třmen, brzdový píst, brzdové destičky. Kotouč je brzděný přitlakem brzdových destiček. Používá se především u automobilů, motocyklů a kolejových vozidel. Vynálezcem je Frederick W. Lanchester.

Roku 1907 vyrobil Herbert Froot brzdové destičky se segmenty z azbestu, které se díky jejich vhodným vlastnostem prosadily. Tento materiál byl záhy nahrazen jiným z důvodu škodlivosti pro lidský organismus.

Hydraulické ovládání brzd bylo vyvinuto firmou Lockheed roku 1919, pomocí nějž byla posílena síla vyvolaná nohou řidiče. K zesílení brzdného účinku byl použit podtlak v sacím potrubí spalovacího motoru. Tento princip si patentovala firma Hispano-Suiza v roce 1919. [5]

## 1.2 Brzdový systém

Složení hydraulické brzdové soustavy zahrnuje tyto komponenty: hlavní brzdový válec, podtlakový posilovač, vyrovnávací nádrž na brzdovou kapalinu a spojovací potrubí. Dle zákona je nutné, aby hydraulická část byla rozdělena na dva okruhy. Brzdovým pedálem jsou tyto okruhy společně ovládány. V případě poruchy na jednom z okruhů nedojde k úplnému výpadku brzdové soustavy a zůstanou brzděná alespoň některá kola. [1]



Obrázek 1.1 Brzdový systém [3]

Popis k obrázku 1.1 – brzdy kol, 2 – snímače otáček kol, 3 – řídicí jednotka, 4 – nastavovač škrtkové klapky, 5 – předřadné čerpadlo se snímačem neregulovaného brzdného tlaku, 6 – snímač úhlu natočení volantu, 7 – posilovač brzdného účinku s hlavním válcem, 8 – hydraulická jednotka, 9 – snímač stáčivé rychlosti.

---

### 1.3 Rozdělení brzdových soustav

Všechna zařízení a systémy obsaženy ve vozidle, která souvisejí s brzdami se jednotně nazývají brzdová soustava. Brzdové soustavy se dle účelu rozdělují na tyto:

**Provozní brzda** – soustava provozní brzdy působí na všechny čtyři kola vozidla. Snižuje rychlost nebo ji udržuje konstantní. Slouží také pro zastavení vozidla. Řidič nastavuje brzdnou intenzitu prostřednictvím brzdového pedálu. [1]

**Nouzová brzda** – nahrazuje provozní brzdu při jejím selhání. Může být např. použit brzdový okruh dvouokruhové brzdové soustavy nebo parkovací brzda s odstupňovaným účinkem. [1]

**Parkovací brzda** – vozidlo musí udržet v klidové poloze bez přítomnosti řidiče. Dle zákonných předpisů obsahuje mechanickou vazbu mezi ovládacím ústrojím a brzdou. Zpravidla je ovládána ruční pákou. Působí pouze na kola jedné nápravy vozidla. [1]

### 1.4 Asistenční systémy

Tyto systémy lze rozdělit do dvou skupin: aktivní a pasivní. Aktivní prvky se snaží vyhnout nehodě a pasivní minimalizují důsledky dopravní nehody. Obě kategorie zvyšují bezpečnost řidičů a posádky. Mezi aktivní patří např. tyto:

**ABS** – jedná se o protiblokovací systém zablokování kol při kritických jízdních situacích. V takovém případě tento systém zabezpečuje říditelnost vozidla a podstatně snižuje riziko smyku. Na suché vozovce má vozidlo bez ABS kratší brzdnou dráhu, ale na mokré je tato situace opačná. Podstatou ABS systému je, aby se kola vozidla při brzdění stále odvalovala a tím zůstala zachována adheze mezi kolem a vozovkou. Zablockována kola nepřenáší žádnou boční sílu a vozidlo není schopno zatočit. [2]

**ESP** – snižuje riziko kolize, vybočení nebo sjetí z vozovky a překlopení vozidla v kritických situacích. Tento systém spolupracuje při své aktivaci se systémem ABS a ASR. Na základě hodnot ze snímačů porovnává požadovanou dráhu vozidla se skutečnou. Pokud se hodnoty rozcházejí a jsou vyhodnoceny jako kritické, systém zasáhne cílenými brzdnými zásahy do řízení motoru a převodovky pro vytvoření opačného otáčivého momentu než je moment, který vozidlo dostalo při smyku. [3]

---

**ASR** – protiprokluzový systém zajišťující přenos točivého momentu od motoru na povrch vozovky. Zajišťuje zvýšení stability na kluzkém povrchu a zlepšuje rozjezd vozidla. V okamžiku, kdy se poháněná kola začnou protáčet je systémem snížen točivý moment motoru na hodnotu odpovídající neprotáčení při aktuálních adhezních podmínkách. Dle aktuálních situací systém omezuje točivý moment motoru nebo přibrzdí jednotlivá kola, dle potřeby. [3]

**MSR** – řízení krouťícího momentu, který funguje jako doplněk ABS a ASR. Využívá se zejména u diesellových motorů pro jejich vysoký točivý moment, který jsou schopny vyvinout při brzdění motorem. V případě rozpoznání zablokování kol systém zvýší otáčky motoru, aby se kola stále odvalovaly a nedošlo ke smyku. [3]

### 1.5 Brzdové kapaliny

Brzdové systémy automobilů a motocyklů používají pro přenos síly brzdovou kapalinu. Celosvětově se pro její označení vžil termín „DOT“. DOT je zkratka pro americké ministerstvo dopravy (Department of Transportation), které stanovilo specifikace pro výkonnost brzdové soustavy. Nejstarší specifikace DOT byla nahrazena DOT 2 a tak to pokračovalo až po označení DOT 5.

Kapaliny DOT 2, 3, 4 jsou vzájemně kompatibilní, ale nejsou mísitelné s DOT 5. Důvodem je základní báze kapaliny. U DOT 5 je silikonová, zatímco u ostatních je polyetylenglykolová. Při doplnění systému kapalinou DOT 5, který obsahuje DOT 3 nebo DOT 4 vzniklá směs rozleptá pryžová těsnění v brzdovém systému.

Brzdové kapaliny jsou hyroskopické. To znamená, že absorbují vodu ze vzdušné vlhkosti. Zvýšený obsah vody v brzdové kapalině způsobuje pokles teploty jejího odpařování (respektive bod varu). Kapalina DOT 4 může tímto procesem degradovat až na úroveň DOT 2. Proto výrobci doporučují výměnu brzdové kapaliny každé dva až tři roky.

Kapalina v hydraulickém brzdovém systému má nižší bod varu než kapalina nová. Byly stanoveny dvě minimální hodnoty body varu, známé jako „suchý“ a „mokrý“ bod varu. Suchý se týká kapaliny nové a mokrý kapaliny, která obsahuje přibližně čtyři procenta vody, což je průměrné množství vyskytující se u automobilů v běžném provozu. [4]

*Tabulka 1.1 Body varu brzdových kapalin*

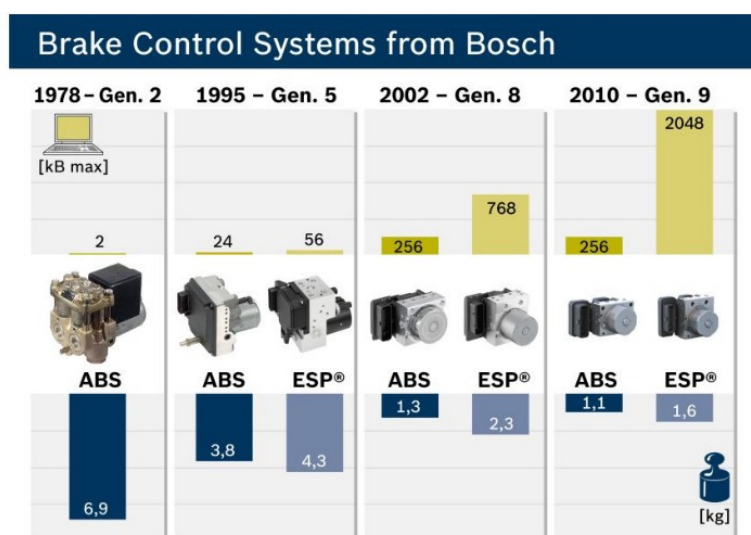
	DOT 2	DOT 3	DOT 4	DOT 5
Suchý bod varu [°C]	190	205	230	260
Mokrý bod varu [°C]	-	140	155	280

## 2 Systém ABS

### 2.1 Historie ABS

Za vývojem systému ABS stojí firma Bosch. První představení proběhlo roku 1978, ale prvopočátky úvah o realizaci tohoto systému sahají až na počátek 20. století. Firma již v roce 1936 podala žádost o patent na „Zařízení k zabránění silného brzdění kol motorového vozidla“. Teprve s příchodem elektronického řízení mohl být tento systém vyvinut a realizován, který byl dostatečně rychlý a robustní pro použití v motorových vozidlech. Prvenství ve využití tohoto systému ve vozidle drží Mercedes – Benz třídy S, který jej nabízel jako zvláštní výbavu. [6]

Systém za celou dobu svého vývoje byl průběžně zdokonalován do dnešní podoby. Poslední generace vstoupila do sériové výroby v roce 2010 pod označením ABS 9. Byly také přidávány nové funkce, jako jsou systémy ASR, ESP a další. Na Obrázku 2.1 je znázorněn vývoj jednotek ABS a ESP od roku 1978 až do současné generace.



Obrázek 2.1 Historie jednotek ABS firmy Bosch [7]

### 2.2 ABS 9

Poslední 9. generace ABS se vyznačuje poklesem hmotnosti a rozměrů až o 30% oproti generaci ABS 8. Váha 1,1 kg u nejkompaktnějšího modelu výrazně poklesla s porovnáním u první verze ABS 2S, kdy jeho váha činila 5,8 kg. Tato úspora je dosažena díky 32 letům vývoje. Díky stavebnicové koncepci lze tento systém použít ve všech automobilových odvětvích, od malých vozů až po lehká užitková.



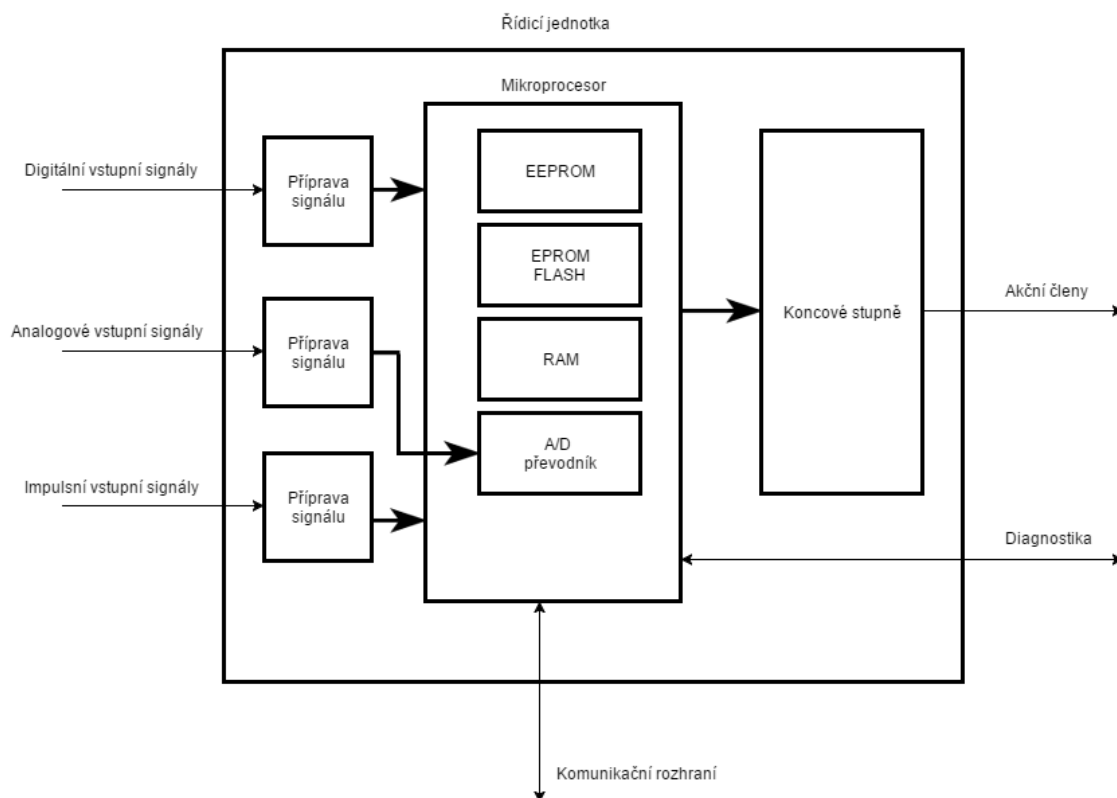
Paralelně od páté generace je vyvíjen také systém ESP. Tento systém se liší hydraulickou jednotkou, ale také i řídicí. Důvodem je, že tento systém ke své činnosti potřebuje další senzory oproti systému ABS.



Obrázek 2.2 Jednotka ABS 9 [7]

## 2.3 Řídicí jednotka

Řídicí jednotka je navržena pro přímou instalaci na hydraulický modulátor. Toto vede k úspoře kabeláže, která by byla nutná pro její propojení s elektromagnetickými ventily v hydraulickém modulátoru. Řídicí jednotka sleduje průběh brzdění pomocí Hallových snímačů otáček kol a ovlivňuje brzdění zásahy pomocí čerpadla a elektromagnetických ventilů.



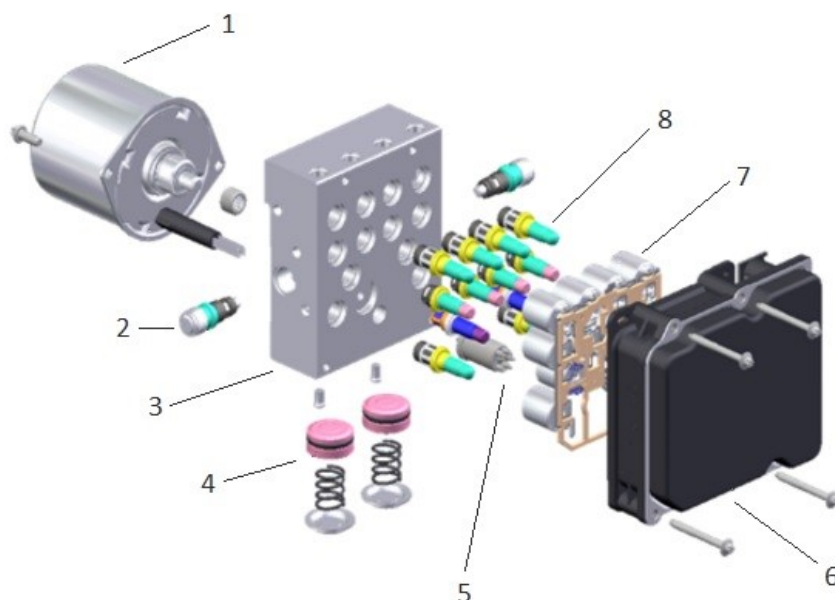
Obrázek 2.3 Blokové schéma vnitřní struktury řídicí jednotky ABS

Blokové schéma znázorňuje hlavní části řídicí jednotky. Mikroprocesor je centrálním prvkem, který zpracovává informace ze vstupních signálů a pomocí předem naprogramovaného algoritmu aktivuje skrze koncové stupně patřičné akční členy. Jeho frekvence bývá kolem 20 MHz a paměť EPROM 256 KB. Tato kapacita paměti je dostačující pro systém ABS. S rostoucím počtem funkcí systému roste i nárok na paměť. Např. pro systém ESP je zapotřebí paměti o hodnotě 1 MB. U komplexnějších systémů se zvyšují i požadavky na mikroprocesor, který je nutné provozovat na vyšších frekvencích. Paměť EEPROM slouží jako úložiště paměti závad.

Software řízení brzd obsahuje tyto části: operační systém, diagnostický režim, software pro specifické požadavky a software výrobce řídicí jednotky (aplikační software).

## 2.4 Hydraulický modulátor

Úkolem hydraulického modulátoru je změna brzdného tlaku, který vyvolá změnu brzdného účinku. V modulátoru tlaku je obsaženo čerpadlo, které slouží pro snižování nebo zvyšování brzdného tlaku. Dále se zde nachází tlumicí komory, které slouží k tlumení kolísání tlaku v brzdovém okruhu. K modulaci brzdného účinku dochází pomocí vstupních a výstupních ventilů na hydraulických okruzích jednotlivých kol.

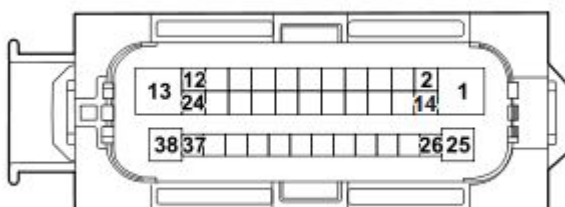


Obrázek 2.4 Náhled na jednotlivé části modulátoru [7]

Modulátor se skládá z těchto komponent: 1 – motor, 2 – čerpadlo (2ks), 3 – hydraulický ventilový blok, 4 – tlumicí komory (2ks), 5 – snímač tlaku, 6 – řídicí jednotka (ECU), 7 – cívka ventilu (12ks), 8 – elektromagnetický ventil (12ks).

Naproti tomu přepouštěcí a sací ventily slouží k aktivnímu zvyšování tlaku na brzdách jednotlivých kol. Vytváří jeden celek společně s řídicí jednotkou. V hydraulickém brzdovém okruhu je umístěna mezi hlavní brzdový válec a brzdové válečky kol. Tento modulátor představuje akční člen, který přijímá a provádí příkazy z řídicí jednotky.

Na Obrázku 2.5 je znázorněn konektor jednotky ABS. Z důvodu bezpečnosti a robustnosti je konektor vybaven systémem, který zabraňuje jeho samovolné odpojení.



Obrázek 2.5 Konektor modulátoru

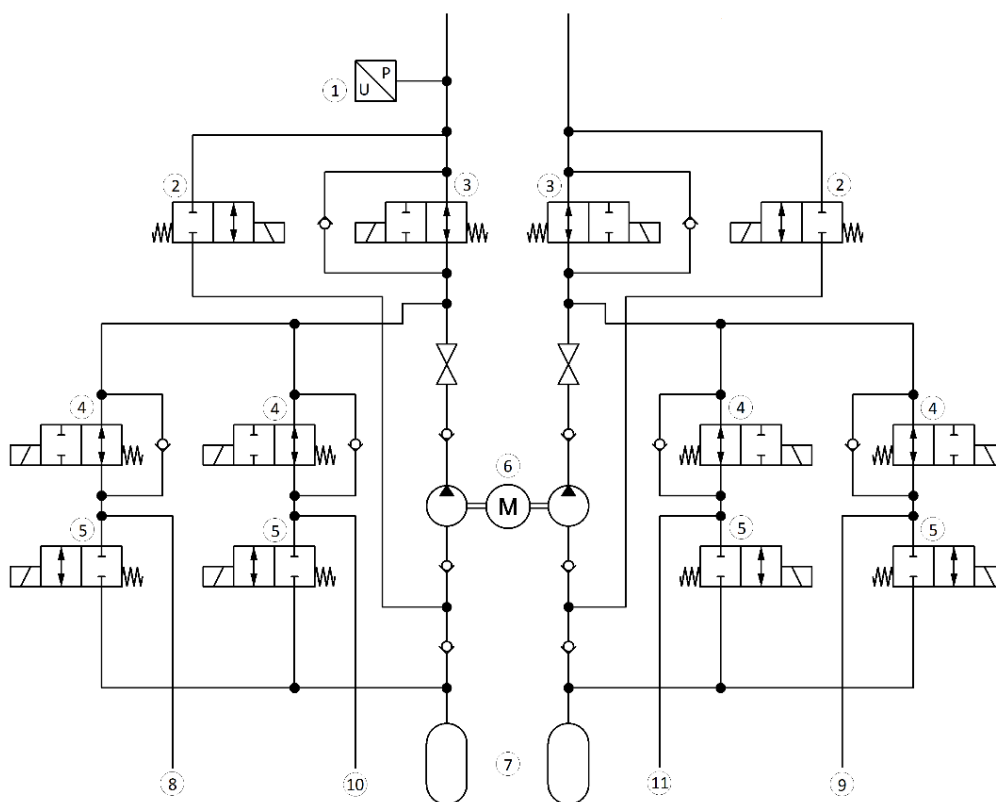
Tabulka 2.1 Pinout ABS jednotky

Pin	Funkce	Pin	Funkce
1	napájení elektromotoru	20	signál zadního levého senzoru
2	---	21	---
3	---	22	signál předního levého senzoru
4	---	23	snímač spojkového pedálu
5	---	24	snímač zvoleného převod. stupně
6	signál předního pravého senzoru	25	napájení ŘJ a elektromag.ventilů
7	---	26	CAN_H
8	aktivace/deaktivace ESP	27	výstupní rychlost
9	---	28	---
10	snímač brzdového pedálu	29	---
11	---	30	---
12	---	31	signál zadního pravého senzoru
13	zem elektromotoru	32	napájení od zapalování
14	CAN_L	33	napájení zadního levého senzoru
15	---	34	napájení předního levého senzoru
16	---	35	---
17	---	36	---
18	napájení předního pravého senzoru	37	---
19	napájení zadního pravého senzoru	38	zem ŘJ a elektromag.ventilů

Komunikace jednotky s okolím probíhá pomocí CAN sběrnice. Tato sběrnice slouží i pro sériovou diagnostiku. Jednotka dále přijímá analogové signály ze snímačů otáček kol a snímače brzdového pedálu. O stavu ABS systému řidiče informují kontrolky ABS, EBD, které jsou umístěny na palubní desce. Napájení jednotky je rozděleno na tři větve: napájení

elektromotoru a ŘJ, napájení elektromagnetických ventilů a napájení, které je aktivováno skrze spínací skříňku po zapnutí zapalování.

Na Obrázku 2.6 je znázorněno hydraulické zapojení modulátoru a jeho jednotlivé komponenty: 1 – snímač tlaku, 2 – sací ventily, 3 – přepouštěcí ventily s omezovačem tlaku, 4 – vstupní ventily, 5 – výstupní ventily, 6 – motor s čerpadly, 7 – tlumící komory, 8 – pravá přední brzda, 9 – levá přední brzda, 10 – levá zadní brzda, 11 – pravá zadní brzda.



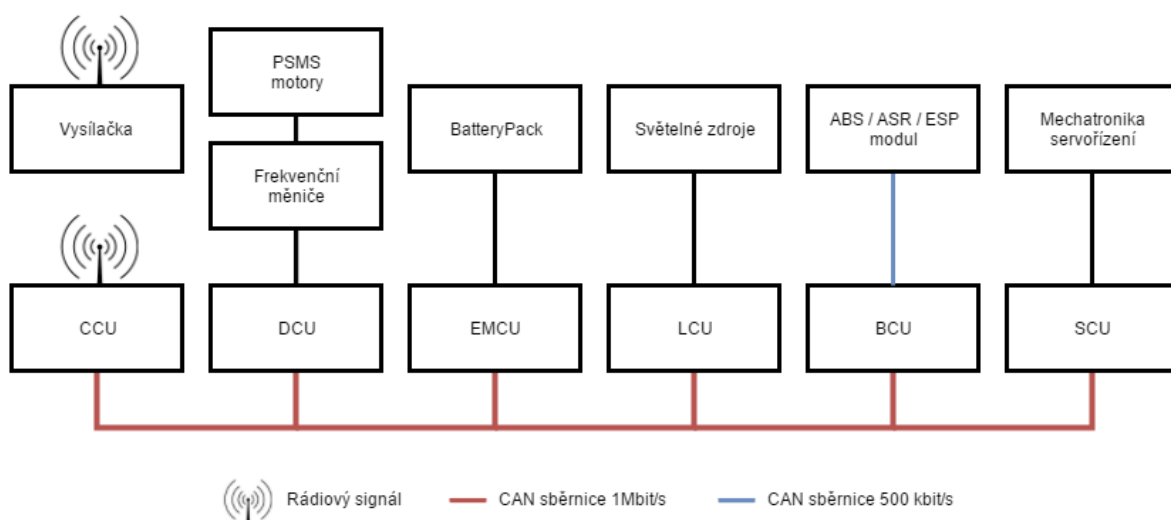
Obrázek 2.6 Vnitřní hydraulické zapojení modulátoru

## 2.5 Snímače

Snímače otáček posílají informace o měřené veličině do ŘJ, která určuje rychlost jednotlivých kol. U těchto systémů se používají buď indukční snímače (pasivní) otáček nebo Hallovy (aktivní) snímače otáček. Liší se v konstrukci, ale i v požadavcích na napájení. Indukční snímače díky své technologii provedení nepotřebují napájení. Propojení indukčních snímačů s ŘJ je řešeno pomocí dvou vodičového vedení. Hallovy snímače jsou propojeny třemi vodiči. Výhoda Hallova snímače je nezávislost výstupního napětí senzoru na otáčkách kol. Tato vlastnost zajišťuje měření až do úplného zastavení. Zejména je tedy podstatná schopnost činnosti Hallova snímače u kvazistatických pohybů.

### 3 Elektronické systémy vozidla DemoCar

Projekt DemoCar slouží pro demonstraci prací studentů zabývajících se automobilovou elektronikou. A dále jako prostředek pro vývoj nových metod asistenčních systémů podvozku a vývoj moderních komunikačních prostředků. Jedná se o čtyřkolku s nezávislým elektrickým pohonem každého kola. Vozidlo je ovládáno dálkově 16kanálovou vysílačkou. Ovládány jsou řídicí systémy pohonu, servořízení, brzd, světel, napájení a centrální řídicí systém. Vybrané údaje telemetrie je možné vizuálně sledovat na displeji vysílačky.



Obrázek 3.1 Blokové schéma elektroniky vozidla DemoCar

V následujících odstavcích jsou krátce popsány jednotlivé systémy. Jejich vzájemná komunikace probíhá na CAN sběrnici. Při vývoji jednotlivých systémů jsou používány moderní automobilové součástky a vše je vyvíjeno s ohledem na funkční bezpečnost.

#### Jednotka BCU (Brake Control Unit)

Předchozí řešení je popsáno v následující kapitole 3.1. Toto řešení brzdové soustavy je nahrazeno novým návrhem, kterým se zabývá tato práce.

#### Jednotka CCU (Central Control Unit)

Centrální řídicí jednotka zpracovává požadavky uživatele skrze vysílačku Jeti – Duplex DC-16 EX. Vysílačka je vybavena křížovými ovladači, podsvíceným LCD displejem a přepínači. Pracuje ve frekvenčním pásmu 2,4 GHz. Zprávy přijaté CCU odesílá na CAN sběrnici, kde ostatní jednotky podle identifikátoru zpráv přijímají ty zprávy, které jsou pro ně určeny.

---

## Jednotka DCU (Drive Control Unit)

Pohon zajišťují třífázové synchronní motory s permanentními magnety Baumüller DSC100-S64U. Pro pohon každého kola slouží jeden motor. Mezi kolo a motor je vložena převodovka o s převodovým poměrem 1:4. Při uvažování maximálních otáček motoru což je 1000 ot/min, průměru kola 0,63 m a daného převodu převodovky je teoretická maximální rychlost vozidla přibližně 30 km/h.

$$v = \pi \cdot d \cdot n = \pi \cdot 0,63 \cdot \frac{1000 \cdot 3,6}{4 \cdot 60} = 29,688 \text{ km/h} \quad (1)$$

Kde:

- $v$  – rychlost [km/h],
- $d$  – poloměr kola [m],
- $n$  – otáčky motoru [ot/min].

V aplikaci pohonu pro DemoCar se používá pro řízení motoru měnič Baumüller b maXX 4423-ST0-01200-03. Toto řízení probíhá v režimu střídače. Silové napájení je stejnosměrné z BatteryPacku 1 (540 V) přímo do meziobvodu měniče. Řídicí část měniče je napájena z BatteryPacku 2 (24 V). Komunikace mezi měniči a DCU probíhá skrze sběrnici CAN Open. Řídicí jednotka pohona je napájena z BatteryPacku 3 (12 V).

## Jednotka EMCU (Energy Management Control Unit)

Napájení vozidla DemoCar zajišťují 3 BatteryPacky (1, 2, 3) s jeho řídicí jednotkou. Všechny BatteryPacky jsou sestaveny z Li-Fe-Po<sub>4</sub> článků. BatteryPacky disponují třemi úrovněmi napětí pro pokrytí všech potřeb vozidla. Již bylo zmíněno, že se jedná o úrovně 12 V, 24 V a 540 V.








## Jednotka LCU (Light Control Unit)

Řídicí jednotka osvětlení vozidla aktivuje a deaktivuje světelné zdroje. Požadavek na aktivaci či deaktivaci dochází na základě požadavku jiné řídicí jednotky nebo v reakci na aktuální stav vozidla (např. brzdění, kdy jednotka detekuje tento stav). Vozidlo je vybaveno širokou škálou světél a funkcí. Jejich výčet je uveden na obrázku 3.2.

## Jednotka SCU (Steering Control Unit)

Natáčení kol zajišťuje mechanismus s lineárním vedením, krokovým motorem a posilovačem řízení. Příkazy z vysílačky zpracovává SCU, která komunikuje s kontrolérem pro krokový motor za pomoci sběrnice RS485. Rotační pohyb krokového motoru je

převáděn pomocí lineárního vedení na posuvný. Pomocí speciálního spřáhla je spojen s hřídelí řízení, na které je také posilovač řízení. Posilovač řízení zvyšuje kroutící moment a zasílá SCU informaci o natočení kol.

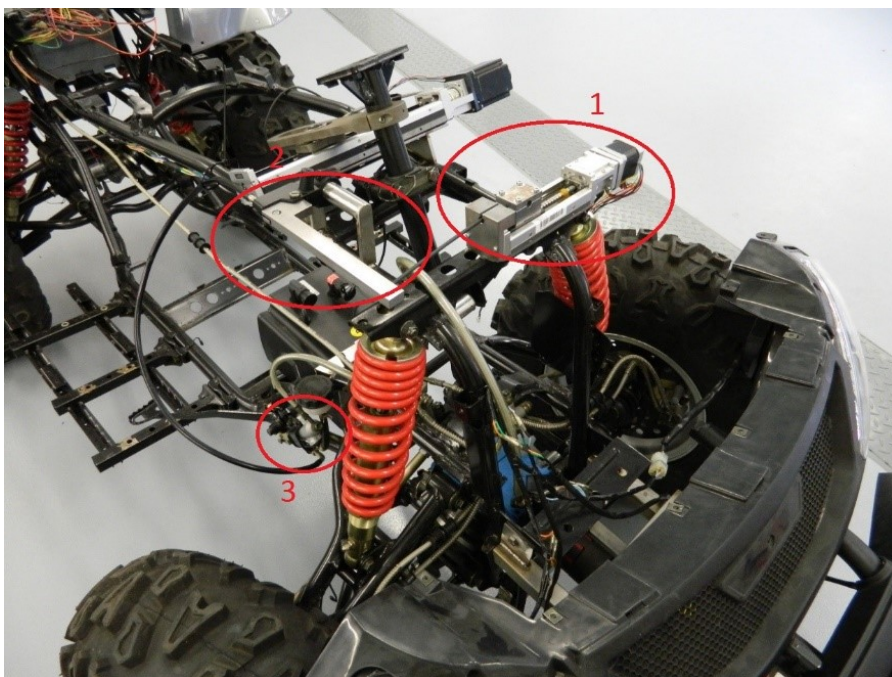
Okruh	Funkce	Značka	Pozice	Barva	Příkon [W]	Odběr [mA]
1.	tlumené		přední	bílá	70	5833
2.	dálkové		přední	bílá	70	5833
3.	denní		přední	bílá	0,96	80
4.	směrové P		přední/zadní	oranžové	1,88	156
5.	směrové L		přední/zadní	oranžové	1,88	156
6.	obrysové		zadní	červené	0,36	30
7.	brzdové		zadní	červené	4,50	375
8.	couvací		zadní	bílé	2,76	230
9.	KPS		horní	modrá	0,72	60
10.	SKC		horní	červená	1,80	150

Obrázek 3.2 Světla a funkce[8]

### 3.1 Předchozí řešení BCU

Předchozí řešení brzdové soustavy, které bylo řešeno v předcházející práci [9], bylo koncipováno jako parkovací brzda a z důvodu nízké dynamiky nebylo použitelné pro užití jako provozní brzda. Toto řešení obsahovalo dva hydraulické obvody. První z nich vyvolá brzdný účinek na obou kolech přední nápravy a zároveň na brzdě nápravy zadní. Tento hlavní brzdný okruh je aktivován mechanismem skládajícího se z lineárního vedení, které je pomocí pružné spojky a krokového motoru uváděno do pohybu. Druhý okruh slouží pouze pro spuštění brzd přední nápravy při přepravě a je spouštěn manuálně pákou.

Mechanické propojení mezi hlavním brzdovým válcem a lineárním vedením bylo řešeno pomocí páky pro dosažení potřebného momentu. Propojení mezi lineárním vedením a pákou bylo řešeno pomocí ocelového lanka.



*Obrázek 3.3 Umístění brzdícího mechanismu[9]*

Na Obrázku 4.1 je zobrazena montáž brzdového mechanismu (1), páka (2) a hlavní brzdový válec (3).

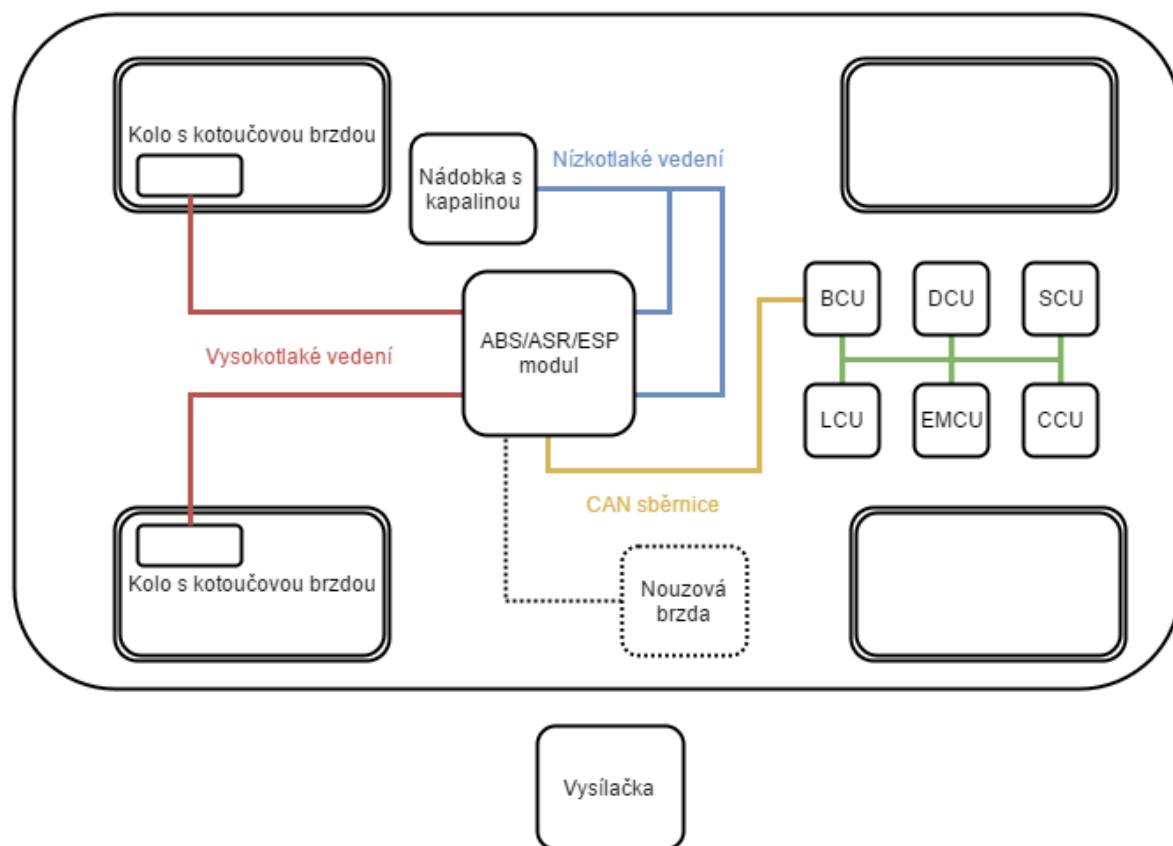


## 4 Návrh elektro - hydraulického systému brzd

Návrh předcházelo prostudování předchozích prací, které se věnovaly demonstračnímu vozidlu DemoCar a seznámení se s aktuálním stavem systémů vozidla. S ohledem na současný stav a koncepci byl proveden návrh jednotky brzd a brzdové soustavy.

### 4.1 Teoretický návrh

V novém návrhu brzdové soustavy se počítá s využitím hydraulické jednotky asistenčního systému ABS/ASR/ESP. Tato jednotka je řízená z nadřazeného řídicího systému. Řídicí systém přijímá a zpracovává povely z vysílačky, které zadává uživatel. Dále komunikuje s ostatními ŘJ. Je také navržena nouzová brzda, která při selhání hydraulické jednotky zabezpečí nouzové zastavení vozidla (praktická realizace nouzové brzdy není součástí řešení této diplomové práce). Při realizaci jsou použity stávající komponenty jako kotoučové brzdy a nádobka na brzdovou kapalinu.



Obrázek 4.1 Schéma struktury brzdové soustavy

---

## 4.2 Výběr ABS/ASR/ESP modulu

Při volbě modulu bylo na něj definováno několik požadavků. Mezi ně patří: kompaktní rozměry pro začlenění do konstrukce vozidla, komunikace probíhající na CAN sběrnici pro spolupráci s již existujícími systémy na vozidle, napájení +12 V DC, které poskytuje BatteryPack. Dále odolnost vůči elektromagnetickému rušení, mechanickou odolnost, odolnost vůči teplotním výkyvům a odolnost vůči vlhkosti.

Na základě těchto kritérií byl zvolen modul ABS/ASR/ESP z vozidla Hyundai ix20 pod označením ESP 9.7.2. Jeho parametry jsou uvedeny v tabulce 4.1.

*Tabulka 4.1 Parametry ABS/ASR/ESP modulu*

Rychlost komunikace [kbit/s]	500
Napájení DC [V]	12
Maximální tlak [bar]	200
Provozní teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ]	-40 až 120

## 4.3 Analýza ABS/ASR/ESP modulu

Po výběru modulu byla provedena jeho analýza na vozidle Hyundai i30, které je určeno pro studijní účely a obsahovalo stejnou verzi modulu, jaký byl vybrán. K analýze bylo zapotřebí dvou osobních počítačů a diagnostického zařízení. Na jednom z počítačů bylo za pomoci diagnostického softwaru ESI[tronic] 2.0 provedeno připojení k modulu ve vozidle. Po připojení byly prováděny testy akčních členů. Tyto testy se běžně provádějí pro zjištění funkčnosti elektromagnetických ventilů a čerpadla. Testy se vyhodnocují slyšitelným cvakáním elektromagnetických ventilů nebo bzučením elektromotoru.

Na druhém počítači byl nainstalován program PP2CAN, který obsluhoval převodník USB2CAN. Tento převodník byl napojen na CAN sběrnici vozidla a sloužil pro odposlouchávání datových zpráv na CAN sběrnici. Tyto zprávy byly odposlouchávány pouze v případě, kdy v diagnostickém programu byl zadán požadavek na provedení testu akčního členu.



Obrázek 4.2 Analýza ABS systému

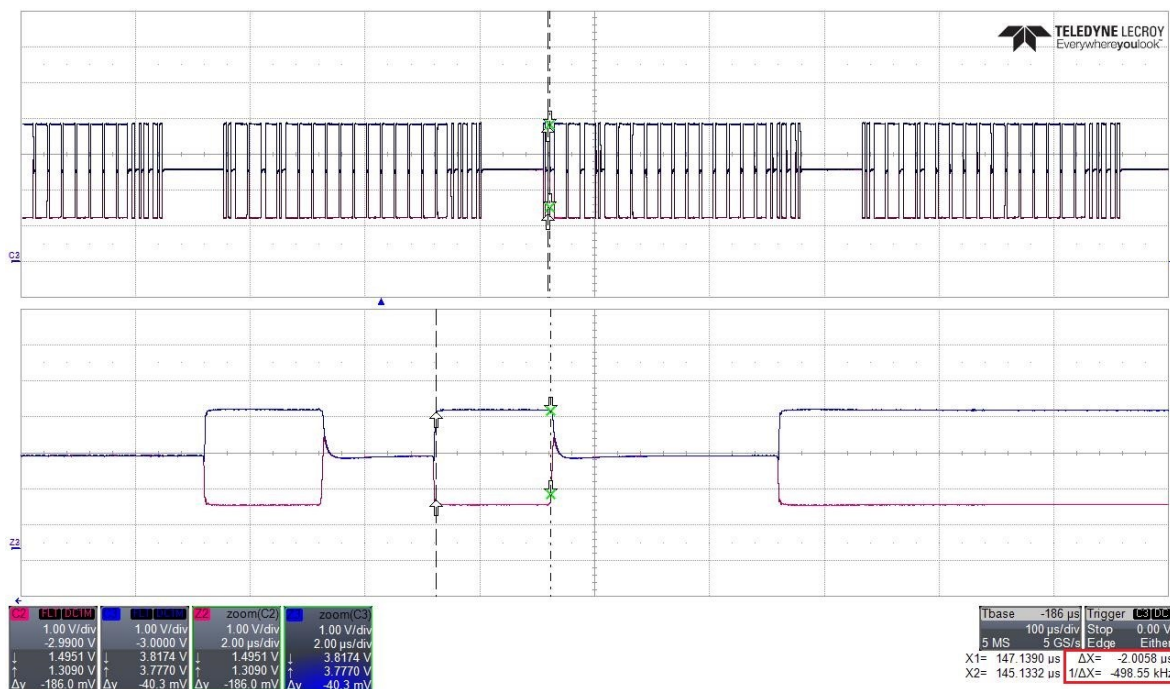
Data na CAN sběrnici se odesílají v rámcích a každý rámec může obsahovat až 8 datových bajtů. V každém rámci je obsažen identifikátor, který definuje obsah zprávy a její prioritu při odesílání na sběrnici. Odposlechnuté zprávy jsou pod kódovým označením obsaženy v tabulce 4.2. Význam jednotlivých funkcí je uveden v neveřejné příloze této práce.

Tabulka 4.2 CAN zprávy testu akčních členů

	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
Funkce x1	2	16	144	0	0	0	0	0
Funkce x2	3	48	1	17	0	0	0	0
Funkce x3	3	48	2	17	0	0	0	0
Funkce x4	3	48	3	17	0	0	0	0
Funkce x5	3	48	4	17	0	0	0	0
Funkce x6	3	48	5	17	0	0	0	0
Funkce x7	3	48	6	17	0	0	0	0
Funkce x8	3	48	7	17	0	0	0	0
Funkce x9	3	48	8	17	0	0	0	0
Funkce x10	3	48	9	17	0	0	0	0
Funkce x11	3	48	14	17	0	0	0	0
Funkce x12	3	48	15	17	0	0	0	0
Funkce x13	3	48	10	17	0	0	0	0
Funkce x14	3	48	11	17	0	0	0	0
Funkce x15	4	48	26	17	0	0	0	0

## 4.4 Testování komponent

Pro správnou funkčnost ABS/ASR/ESP modulu je nutné připojení sedmi vodičů. Jedná se vodiče pod označením pinu 1, 13, 14, 25, 26, 32, 38. Označení těchto vodičů je popsáno v kapitole 2.4. Poté bylo přistoupeno k testování odposlechnutých zpráv na samotné jednotce mimo vozidlo. Pomocí osciloskopu byla zjištěna komunikační rychlost a ověřena dle vzorce (2).



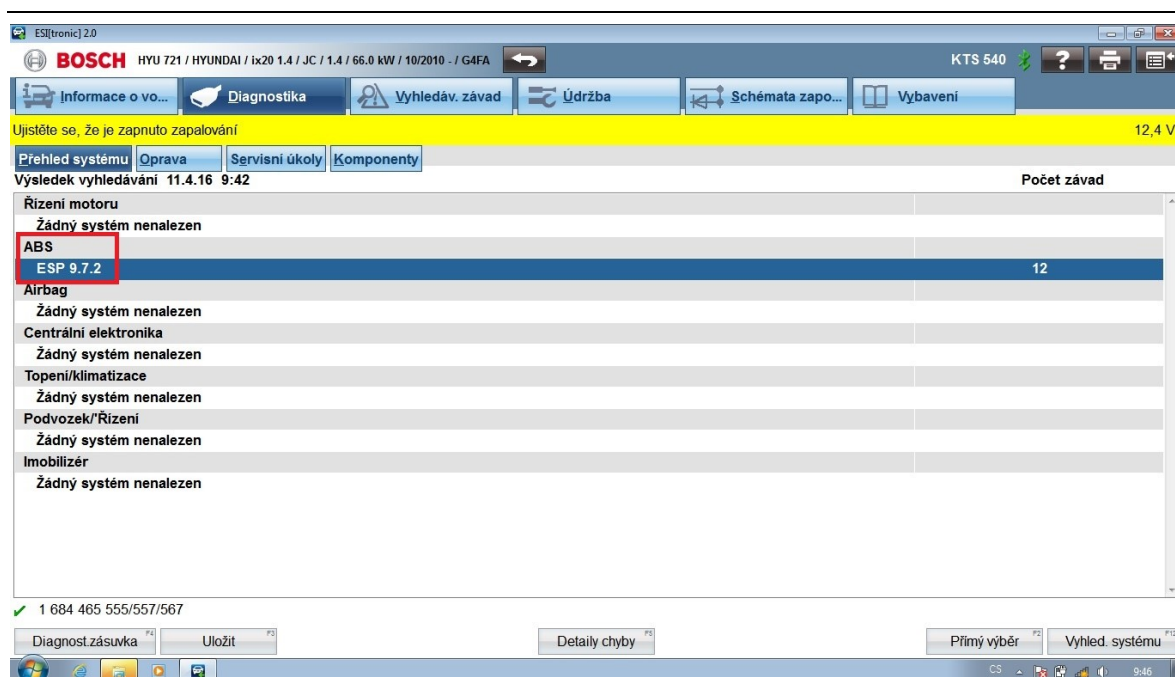
Obrázek 4.3 Analýza CAN sběrnice osciloskopem

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2 \cdot 10^{-6}} = 500000 \text{ Hz} = 500 \text{ kHz} \quad (2)$$

Kde:

- $f$  – frekvence [Hz],
- $T$  – perioda [s].

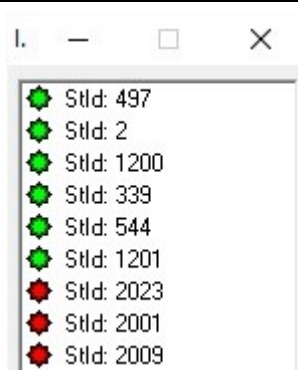
Po zjištění komunikační rychlosti bylo možné přistoupit k připojení diagnostického zařízení a počítače s softwarem PP2CAN a převodníkem USB2CAN. Toto testování bylo prováděno experimentálně na laboratorním stole. Pro napájení ABS/ASR/ESP modulu při tomto testování byla zvolena autobaterie 12 V / 64 Ah. Tato varianta napájení byla zvolena z důvodu očekávaného vysokého proudu, který by laboratorní zdroje nebyly schopny dodávat. Průběhy proudu a napětí při spínání elektromagnetických ventilů a čerpadla jsou uvedeny v kapitole 5.5.



Obrázek 4.4 Diagnostický program ESI[tronic] 2.0

S využitím funkce IDtrap (Obrázek 4.5) v softwaru PP2CAN, lze sledovat, které datové zprávy s patřičnými identifikátory (včetně četnosti výskytu) vysílá na sběrnici modul ABS/ASR/ESP. Zeleně označeny jsou aktivní a červené neaktivní. Pro diagnostický režim, který slouží pro testování akčních členů jsou vyhrazeny identifikátory IDx1 a IDx2. Identifikátor IDx1 je určen pro příjem zpráv, které modul ABS/ASR/ESP má vykonat a identifikátor IDx2 odesílá zprávu na sběrnici o vykonání příkazu nebo chybně formulovaném příkazu. Každý příkaz odeslaný do modulu (ŘJ) vyvolá dvě odpovědi. Například při odeslání požadavku na spuštění čerpadla je v okamžiku spuštění čerpadla odeslána zpráva na sběrnici a následně je odeslána i po vypnutí čerpadla. První odeslaná zpráva (Tabulka 4.3) se shoduje ve všech případech testovaných akčních členů a druhá (Tabulka 4.4) je již odlišná dle testovaného prvku.

Po připojení ABS/ASR/ESP modulu na napájení jsou na sběrnici periodicky vysílány datové zprávy, které jsou označeny patřičnými identifikátory. Této vlastnosti je využito při kontrolování stavu modulu v aplikačním softwaru (kapitola 5.3).



Obrázek 4.5 IDtrap

Tabulka 4.3 První odpověď

B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
3	127	48	120	0	0	0	0

Tabulka 4.4 Druhá odpověď

	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
Funkce x1	2	80	144	0	0	0	0	0
Funkce x2	3	112	1	2	0	0	0	0
Funkce x3	3	112	2	2	0	0	0	0
Funkce x4	3	112	3	2	0	0	0	0
Funkce x5	3	112	4	2	0	0	0	0
Funkce x6	3	112	5	2	0	0	0	0
Funkce x7	3	112	6	2	0	0	0	0
Funkce x8	3	112	7	2	0	0	0	0
Funkce x9	3	112	8	2	0	0	0	0
Funkce x10	3	112	9	2	0	0	0	0
Funkce x11	3	112	14	2	0	0	0	0
Funkce x12	3	112	15	2	0	0	0	0
Funkce x13	3	112	10	2	0	0	0	0
Funkce x14	3	112	11	2	0	0	0	0
Funkce x15	3	112	26	2	0	0	0	0

## 4.5 Hydraulické hadice a brzdová kapalina

Vysokotlaké hydraulické hadice byly vyrobeny na zakázku. Splňují požadované vlastnosti pro použití na vozidle DemoCar. Hlavní parametr, který musely splňovat je maximální tlak pro který jsou použitelné. Jsou dostatečně předimenzovány a jsou vhodné pro použití do 400 bar. Kdežto modul ABS/ASR/ESP vyvíjí tlak do 200 bar (Tabulka 4.1).

---

Pro nízkotlaké vedení byly použity hadice pro tlak do 20 bar. I tyto hadice jsou dostatečně předimenzovány. Maximální tlak, který je v nich vyvíjen dosahuje hodnoty 3 bar při odvzdušňování brzdového systému.

Použitá brzdová kapalina nese označení DOT4. Zvolena byla z důvodu použití u vozidla Hyundai ix20, z něhož pochází hydraulický modul a také na čtyřkolce GOES G625 z níž je původně použitý rám a kotoučové brzdy byla výrobcem doporučená brzdová kapalina této specifikace.

#### 4.6 Kotoučové brzdy

Hydraulické kotoučové brzdy jak už bylo zmíněno v předchozím odstavci, pocházejí z původní čtyřkolky. Průměr brzdového kotouče je 203 mm a umožňují připojení dvou brzdných okruhů. Tyto kotoučové brzdy byly ponechány z důvodu váhy a maximální rychlosti. Původní čtyřkolka dosahovala váhy 350 kg a maximální rychlosti přes 100 km/h, a pro tyto parametry byly kotoučové brzdy navrženy a schváleny. Vozidlo DemoCar opět nepřevyšuje celkovou hmotnost 350 kg a maximální rychlost je 30 km/h.

#### 4.7 Požadavky na BCU

Základní hardwarové požadavky a parametry na jednotku brzd jsou popsány níže.

- Řídicí mikrokontrolér PPC5643L
- Využití součástkové základny vozidla DemoCar
- Aplikační software vyvíjen v prostředí CodeWarrior
- Napájecí napětí 12V
- Spínání výkonových stupňů
- 2x CAN (CANcontrol, CANabs)
- Standardizovaný konektor
- Kompaktní provedení

**Řídicí mikrokontrolér PPC5643L** je využíván ve všech ostatních jednotkách vozidla DemoCar. Proto je tento požadavek vznesen i na jednotku BCU. Tento procesor je vyráběn firmou Freescale a jeho architektura je 32 bitová. Jeho základní parametry jsou:

- Jádro: 2x s frekvencí 120 MHz,
- Paměť: 1 MB flash, 128 KB SRAM,
- Napájecí napětí: 3,0 – 3,6 V,

- 
- 2x FlexPWM na čtyřech 16bitových kanálech,
  - 2x LINFlex kanál,
  - 3x DSPI s automatickým chip selectem,
  - 2x FlexCAN 2.0B,
  - 2x 12bitový ADC převodník na 16 portech.

Mimo jiné patří mezi hlavní využití mikrokontroléru řešení a správa komunikace skrze sběrnici CAN, proto jsou na této jednotce využity oba FlexCan moduly mikrokontroléru. První z nich slouží pro komunikaci s ostatními ŘJ a druhý pro komunikaci s ABS/ASR/ESP modulem. Z tohoto důvodu je dále více rozepsána jeho specifikace.

FlexCAN modul slouží jako komunikační ovladač ve kterém je integrována CAN specifikace Bosch, protokolu 2.0B. Protokol CAN byl navržen pro použití jako sériová sběrnice do vozidel. Vyznačuje se prací v reálném čase a spolehlivým provozem. [11]

FlexCAN modul má tyto funkce:

- Plná podpora protokolu 2.0B,
  - Standartní délka rámce,
  - Rozšířená délka rámce,
  - Délka dat: 0 až 8 bajtů,
  - Programovatelná frekvence: až 1 Mbit/s,
- Zásobník: až 32 zpráv o délce 0 až 8 bajtů,
- Vysoká odolnost vůči elektromagnetickému rušení.

Z důvodu unifikace ŘJ jednotek vozidla DemoCar je vhodné **využít součástkovou základnu** vozidla DemoCar. Snižují se tím finanční náklady a nároky na skladování velkého množství různých součástek v případě nutnosti opravy nebo výroby nových ŘJ.

Jelikož předchozí aplikace byly řešeny v **prostředí CodeWarrior**, bylo logickým krokem využití tohoto prostředí i při řešení této práce. Výhodou tohoto prostředí je množství knihovních funkcí napsaných pro použitý mikrokontrolér.

**Nápadecí napětí 12 V DC** se využívá u všech jednotek. Tímto napětím disponuje BatteryPack 3 vozidla.

Jak bylo výše uvedeno jednotka brzd pro svou funkci využívá **dva CAN moduly**. Pro komunikaci s ostatními jednotkami (CANcontrol) a pro komunikaci s ABS/ASR/ESP modulem (CANabs). CANcontrol pracuje na frekvenci 1 Mbit/s a frekvence CANabs je 500



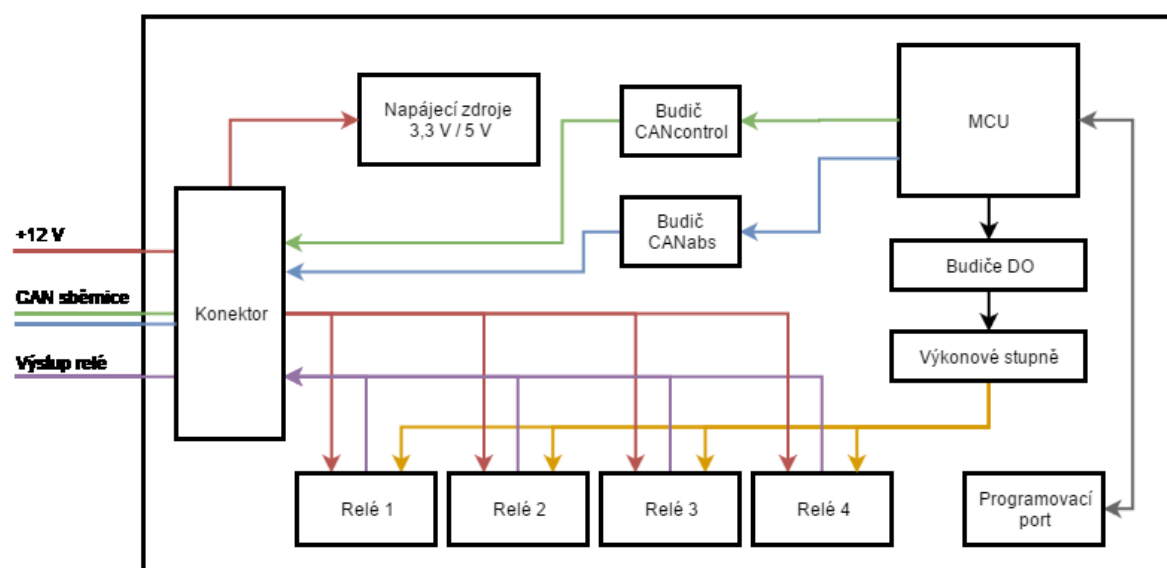
kbit/s. Jednotlivé tvary, specifikace zpráv a identifikátory jsou součástí neveřejné přílohy této práce.

Na vozidle je zaveden jednotný **standardizovaný konektor AMPSEAL** a u všech jednotek je napájecí a komunikační vedení připojeno na stejné piny konektoru. Popis a význam jednotlivých pinů je uveden v tabulce 5.7.

**Požadavky jednotky BCU** na systémy vozidla jsou následující. Hlavní požadavek je napájecí větev s napětím 12 V. Toto napětí dodává elektrickou energii procesoru, ale i ostatním součástkám na desce. Také je využito pro napájení koncových reléových stupňů. Dalším požadavkem je komunikace ostatních jednotek na CAN sběrnici pro vzájemnou spolupráci, což je splněno.

#### 4.8 Blokové schéma BCU

Navržené schéma představuje všechny aplikované bloky, které jsou popsány v předchozí kapitole. Zapojení komponent je pouze principiální. Funkční bloky jsou tvořeny napájecí, řídicí, komunikační, programovací a výkonovou částí jednotky. V kapitole 5.4 jsou uvedeny konkrétní schémata těchto bloků i s popisem jejich funkčnosti.

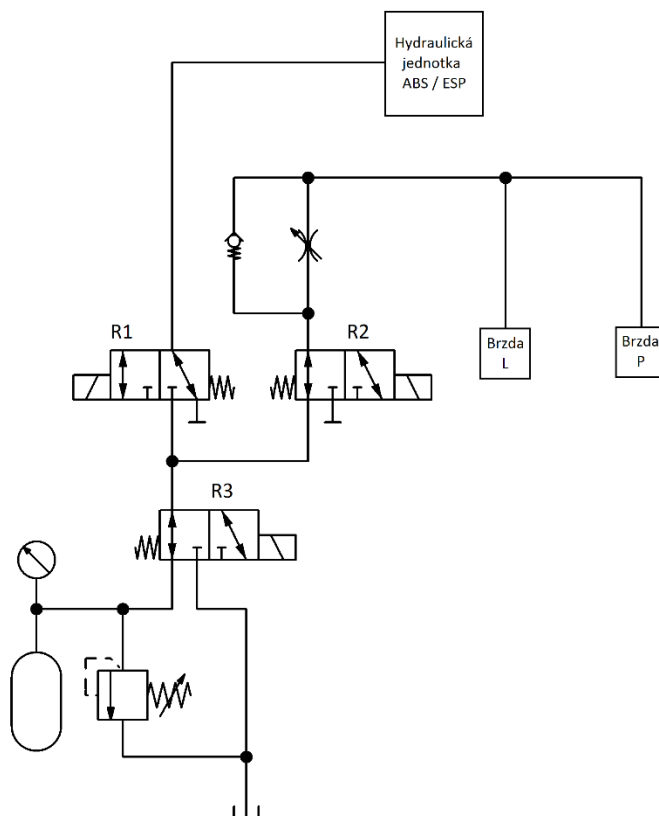


Obrázek 4.6 Blokové schéma navržené jednotky brzd

#### 4.9 Nouzová brzda

Nouzová brzda je navržena pro případ výpadku napájení a nemožnosti použití ABS/ASR/ESP modulu k zastavení vozidla. U kotoučových brzd vozidla DemoCar využije možnosti připojení druhého hydraulického vedení a tvoří tak svůj vlastní hydraulický okruh. Tímto lze považovat hydraulické brzdy na vozidle DemoCar za dvouokruhové. Její hlavní

myšlenka je v hydraulickém akumulátoru, který představuje potřebný záložní zdroj energie pro vytvoření brzdného momentu při výpadku napájení. Pro její funkčnost je nutné, aby v počáteční fázi po spuštění systémů vozidla byla v pořádku hydraulická jednotka, která vytvoří tuto zásobu tlakové energie v onom hydraulickém akumulátoru.



Obrázek 4.7 Hydraulické zapojení nouzové brzdy

Brzdový okruh je složen ze tří rozvaděčů, škrticího ventilu, jednosměrného ventilu, redukčního ventilu, tlakoměru a akumulátoru. Rozvaděče se ovládají elektricky pomocí relé na BCU. Jejich nastavení do původní polohy provádí zpětná pružina. Pojistný ventil slouží pro omezení tlaku. Hodnota tlaku nastavená na tomto ventilu nesmí být vyšší, než která je předepsána na akumulátoru, jinak hrozí jeho poškození. Tlakoměr má pouze funkci informativního měřidla.

Pro natlakování hydraulického akumulátoru je nutné, aby se přenastavily rozvaděče R1 a R2. Po dosažení potřebného tlaku se přenastaví zpět. Rozvaděč R1 je v této poloze udržován pružinou a R2 elektrickým proudem. V případě výpadku elektrického proudu se rozvaděč R2 přenastaví a tlaková energie z akumulátoru proudí k brzdám. Škrticím ventilem se nastaví optimální náběh brzdného momentu. Po opětovném připojení k elektrické energii se přenastaví rozvaděč R3, který odvede tlakovou energii kapaliny do zásobníku a brzdy

jsou uvolněny. Jednosměrný ventil zajistí, aby uvolnění brzd proběhlo rychle a nebylo omezováno škrtícím ventilem.

Jako rozvaděč R1 je zvolen hydraulický sedlový ventil (3/2) D1SE30BNKW. Pro rozvaděče R2 a R3 jsou zvoleny identické rozvaděče pod označením D1SE83BNKW. Technické parametry těchto rozvaděčů jsou shodné.

*Tabulka 4.5 Tabulka parametrů rozvaděčů*

Buzení	solenoid
Maximální tlak [bar]	350
Teplota kapaliny [°C]	-20 až +70
Hmotost [kg]	1.5
Napájecí napětí [V]	12
Odběr proudu [A]	1.95

Hydraulický akumulátor je zvolen ELM ACCU 0.75-350/85/AF. Jedná se o membránový akumulátor plněný dusíkem. Tělo je z karbonové oceli se standardním těsněním typu NBR.

*Tabulka 4.6 Tabulka parametrů akumulátoru*

Objem [l]	0.75
Maximální tlak [bar]	350
Hmotnost [kg]	4
Médium	dusík
Materiál	karbon
Těsnění	NBR

Zvoleny typ manometru je MLA63400DJ. Jeho tělo je naplněno glycerinovou náplní, která usnadňuje odečtení měřeného tlaku. Manometr je vyroben v otřesuvzdorném provedení.

*Tabulka 4.7 Tabulka parametrů manometru*

Maximální tlak [bar]	400
Teplota kapaliny [°C]	-20 až +90
Krytí	IP65
Měřicí prvek	Bourdonova trubice

Pojistný ventil je průmyslový přímo řízený s označením VS350A06VG. Jeho maximální provozní tlak je 350 bar. Obsahuje přípojku pro manometr. Nastavení je možné ve dvou režimech.

Tabulka 4.8 Tabulka parametrů pojistného ventilu

Hmotost [kg]	1.3
Teplota kapaliny [°C]	-20 až +70
Maximální tlak [bar]	350

Škrťací ventil se zpětným ventilem jsou k dostání i ve variantě jedné součásti. Je vybrán typ RD31, který umožňuje regulaci. Tyto ventily patří do kategorie ventilů regulujících průtok. Průtoková ztráta jde velmi jemně nastavit. Jeho maximální provozní tlak je 400 bar.

Tabulka 4.9 Tabulka parametrů škrťacího ventilu se zpětným ventilem

Hmotost [kg]	0.34
Teplota kapaliny [°C]	-40 až +80
Maximální tlak [bar]	400



Obrázek 4.8 Přehled navržených hydraulických prvků

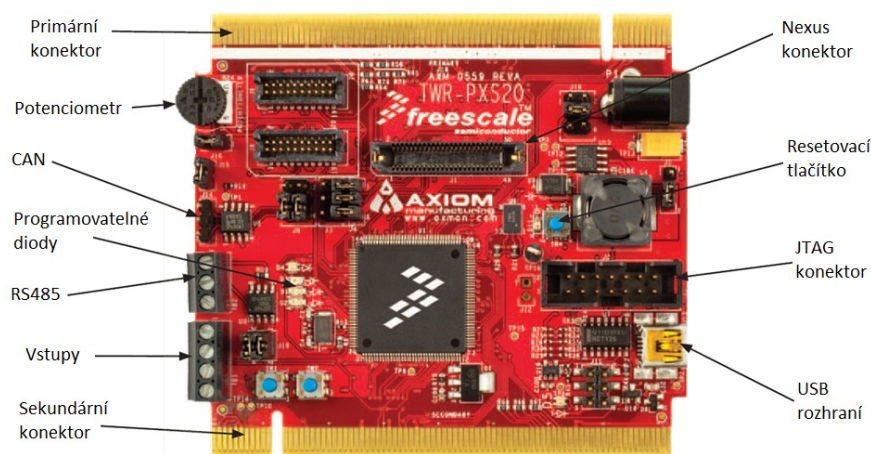
## 5 Realizace elektro – hydraulického systému brzd

Realizace elektro – hydraulického systému brzd je rozdělena na dvě hlavní části. Hardware – výroba základní desky a montáž ABS/ASR/ESP modulu a periférií brzdy na vozidlo DemoCar, a software – aplikační program. Tyto části byly řešeny nezávisle na sobě. Nejprve byl vyvíjen aplikační software a poté byla navržena deska řídicí jednotky zohledňující všechny navržené požadavky.

### 5.1 Tower systém PXS20

Jedná se o vývojový kit, který byl používán pro vývoj a ladění aplikačního softwaru. Ve finální aplikaci ve vozidle DemoCar je nahrazen na míru navrženou a vyrobenou řídicí jednotkou.

Tato deska je osazena MCU PPC5643L, který je vhodný pro použití v automotive aplikacích. Disponuje komunikačními sběrnicemi FlexRay, CAN a LIN. Umožňuje také komunikaci prostřednictvím protokolu UART a SPI. Napájení desky je zajištěno skrze USB nebo je nutné připojit napětí o hodnotě +5 V. Zavedení aplikačního softwaru do paměti mikrokontroléru je možné skrze pomalejší USB rozhraní nebo JTAG konektor, který je rychlejší.



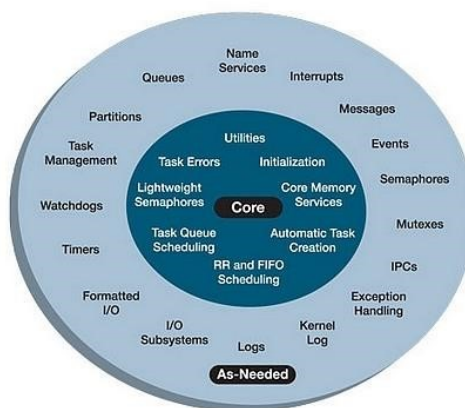
Obrázek 5.1 TWR-PXS20 [10]

### 5.2 Operační systém reálného času MQX

Tento operační systém dodává firma NXP a je na míru upravený pro použití s mikrokontroléry této značky. Jedná se o systém pracující v reálném čase. Jeho předností je snadná práce s perifériemi a s řešením některých úloh (např. práce se vstupy/výstupy,

události, obsluhy přerušení, fronty, správa paměti a také scheduler, který se stará o řízení v případě, že program obsahuje více tasků). Programátor aplikace se nemusí zabývat samotnou hardwarovou strukturou mikrokontroléru, ale pracuje na vyšší úrovni. Tento RTOS se skládá z jádra a dalších doplňkových komponent. K programování se využívá programu CodeWarrior.

MQX patří do kategorie monolytických operačních systémů, jenž používají odděleného paměťového prostoru pro aplikace a jádro. Tímto je zvýšená bezpečnost systému. [12]



Obrázek 5.2 Složení MQX systému [12]

### 5.3 SW řešení

Vývoj aplikačního softwaru probíhal v prostředí CodeWarrior 10.4. Využívá se výše popsaného operačního systému reálného času MQX 4.0, který se vyznačuje jednoduchostí a rychlým nasazením vyvíjené aplikace. Struktura aplikačního softwaru je napsána v programovacím jazyku C.

#### Popis funkčního běhu programu

Celý běh aplikačního softwaru lze rozdělit na 6 navzájem závislých tasků. Z toho je jeden hlavní (main task), který vytváří a spouští ty ostatní.

Výpis jednotlivých tasků:

- CAN\_0\_Rx\_task (CANcontrol),
- CAN\_0\_Tx\_task (CANcontrol),
- CAN\_1\_Rx\_task (CANabs),
- CAN\_1\_Tx\_task (CANabs),
- CHECK\_ABS.

---

Po zapnutí napájení dochází v main tasku nejprve k inicializaci CAN modulů, první CAN\_0 (CANcontrol) a poté CAN\_1 (CANabs). Ve funkcích CAN\_Init\_0 a CAN\_Init\_1 se nastaví požadované parametry sběrnic, vytvoří komunikační mailboxy, nainstaluje se funkce obsluhující přerušení pro příjem dat z CANu. V posledním kroku se aktivuje sběrnice. Poté přijde na řadu aktivace tasků obsluhující příjem a odesílání dat přes CAN sběrnici. Každý CAN modul má svůj task pro odesílání i pro příjem dat. V rámci těchto tasků jsou řešeny i funkce pro brzdění. Posledním aktivovaným taskem je CHECK\_ABS, který má na starosti kontrolu stavu ABS/ASR/ESP modulu. Všechny tyto procedury jsou vykonány pouze jednou, a to při spuštění.

Nyní bude popsána funkce tasku **CAN\_0\_Rx\_task**. Jedná se o přijímací task na sběrnici CANcontrol. Task běží v cyklickém běhu, ve kterém přijímá data. Pro příjem dat se používá knihovní funkce pro MQX, jenž přijímaná data ukládá do proměnné a vygeneruje událost. Aby nemohlo dojít k přepisu dat, tato událost data uzamkne. Poté se kontroluje ID dat, zda se jedná o ID s požadovanými daty. Jestliže ano, dochází k dalšímu zpracování dat. Proměnná je poté uvolněna a čeká se na nová data. Konkrétně v tomto tasku se přijímají data vysílaná z vysílačky přes centrální jednotku, jednotky řízení a jednotky pohonu (počítá se v kódu i s příjmem dat z jednotky napájení). Data přijímaná z vysílačky jsou tato: požadavek na spuštění ruční brzdy, požadavek na jízdu vpřed nebo vzad. Požadavek na jízdu vpřed nebo vzad je vyhodnocován v algoritmu brzdění jako podmínka pro zjištění, zda se má brzdít. Data z jednotky řízení nesou pouze informaci o tom zda je jednotka v pořádku nebo se na ni objevila chyba. V případě chyby na této jednotce se provede nouzové zastavení. Z jednotky pohonu se přijímá také informace o jejím stavu a rychlosti motorů. Opět při chybě DCU se provede nouzové zastavení. Data o rychlosti motorů slouží jako podmínka pro vyhodnocení intenzity brzdění.

Task **CAN\_1\_Rx\_task** přijímá na sběrnici CANabs data od ABS/ASR/ESP modulu. Ta jsou vyhodnocována zda modul komunikuje korektně nebo se něm vyskytl problém. Toto vyhodnocení probíhá v samotném tasku CHECK\_ABS. Jak toto vyhodnocení probíhá je popsáno níže.

Odesílací task **CAN\_0\_Tx\_task** na sběrnici CANcontrol odesílá pod definovaným identifikátorem informaci zda ABS/ASR/ESP modul pracuje korektně nebo se na něm vyskytl problém. Tuto informaci využívá jednotka pohonu. Tato zpráva je odesílána každou sekundu. Tento formát zpráv je standardizován a využívají jej také jednotky pohonu a řízení.

Tabulka 5.1 Formát zpráv informující o stavu BCU

V pořádku	ID	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
	140	0	0	0	0	0	0	0	0
Chyba	ID	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
	140	0	0	0	120	0	0	0	0

Nyní bude popsána funkce tasku **CHECK\_ABS**. Task využívá dat, která jsou přijímána na sběrnici CANabs jenž vysílá ABS/ASR/ESP modul. Na této sběrnici je vybrán jeden identifikátor, na němž se data při jakékoliv činnosti modulu nemění. V rámci zvoleného identifikátoru se kontroluje hodnota nultého bajtu. Po kontrole této hodnoty je proměnná, v němž je tato hodnota uložena vynulována a kontrola probíhá znovu. V případě neuložení nové hodnoty, která odpovídá stavu v němž je ABS/ASR/ESP modul v pořádku, je na sběrnici CANcontrol odeslána informace pro DCU o tomto mimořádném stavu. Jednotka pohonu vypíná motory a následně jednotka brzd aktivuje nouzovou brzdu.

Tabulka 5.2 Formát zprávy využívaný pro kontrolu ABS jednotky

ID	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
497	11	255	255	255	255	255	255	255

Odesílání dat pro ABS/ASR/ESP modul probíhá v tasku **CAN\_1\_Tx\_task**. V tomto tasku se vykonává brzdový algoritmus. Nejprve jsou nadefinovány potřebné tvary zpráv pro spuštění čerpadla a otevírání a zavírání potřebných elektromagnetických ventilů. Nejprve je volána funkce pro natlakování nouzové brzdy. Tato funkce je volána pouze v případě prvního spuštění. Opětovné zavolání je možné pokud proběhne nouzové brzdění a tlak v akumulátoru nebude dostatečný pro opětovné nouzové zastavení. Jelikož nouzová brzda je pouze navržena (viz kapitola 4.9) a není realizována, tak tato část kódu není vykonávána. Poté se kontroluje, zda je splněna podmínka pro spuštění parkovací brzdy. Spuštění parkovací brzdy je podmíněno dvěma kritérii. Vozidlo musí mít nulovou rychlost a uživatel musí zadat tento požadavek příslušnou páčkou na vysílače. Poté následuje hlavní brzdící smyčka. Vykonávání této smyčky je opět podmíněno dvěma podmínkami. Stav jednotky řízení a jednotky pohonu musí být v pořádku. V opačném případě je spuštěn režim nouzového zastavení vozidla. Brzdový algoritmus je rozdělen na pět částí. Tyto části představují intenzity brzdění. Podmínky pro splnění některé intenzity udávají dva parametry: rychlost vozidla a poloha páčky udávající směr pohybu vozidla na vysílače. Rozvržení brzdného účinku je rozděleno do 5 intenzit a je uvedeno v následujících tabulkách.



Tabulka 5.3 Intenzity brzdění při jízdě vpřed

Poloha páčky	Rychlost	od 5 do 10 km/h	do 20 km/h	do 30 km/h
200 ÷ 1500		1	2	3
1501 ÷ 3000		2	3	4
3001 ÷ 3768		3	4	5

Tabulka 5.4 Intenzity brzdění při jízdě vzad

Poloha páčky	Rychlost	od 5 do 10 km/h	do 20 km/h	do 30 km/h
-200 ÷ -1500		1	2	3
-1501 ÷ -3000		2	3	4
-3001 ÷ -4007		3	4	5

Jelikož data o rychlosti získávána z DCU jsou odesílána ve formě otáček za minutu, je nutné si je přepočítat na lépe představitelnou hodnotu ve formě kilometrů za hodinu. Tento přepočet je proveden dle vzorce (1).

Tabulka 5.5 Tabulka přepočtu ot/min na km/h

km/h	ot/min
5	168
10	336
20	673
30	1000

Toto rozvržení intenzit brzdění je provedeno z důvodu plynulého nástupu brzdného momentu a snížení opotřebení brzdových kotoučů a brzdových destiček. Ku příkladu při nízké rychlosti není nutné provádět intenzivní brzdění, ale jen lehce přibrzďovat a při rychlosti blížící se maximální je intenzita brzdění vysoká v případě úplného nastavení páčky pojezdu dozadu, kdy se předpokládá, že uživatel potřebuje nutně zastavit, ale při stejné rychlosti a malém vychýlení páčky dozadu je intenzita malá a dochází pouze k přibrzdění.

Tyto intenzity jsou realizovány pomocí postupně řazených datových zpráv, které se odesílají do ABS/ASR/ESP modulu. Protože se tato procedura vykonává v diagnostickém režimu modulu, je nutné před každou sekvencí brzdných zpráv aktivovat diagnostický režim. Tento režim je aktivní pouze po dobu 5 s. Pokud jednotka není v tomto diagnostickém režimu, zprávy které jsou na ni odeslány nejsou vykonány. Mezi každou zprávou se vyskytuje bezpečnostní zpoždění pro odeslání následující. Odstranění těchto zpoždění nebo

---

snížení vede k nepředvídatelnému chování ABS/ASR/ESP modulu. Modul zprávy přijme, ale není je schopen v tak krátkém časovém okamžiku vykonat a vykonává je v náhodném pořadí.

Datové zprávy vyvolávající brzdný účinek tím, že aktivují čerpadlo a přepínají příslušné elektromagnetické ventily, nebylo možné odposlechnout z vozidla (kapitola 4.4). Tyto zprávy byly zjištěny experimentálním způsobem. Při tomto testování bylo využito vývojového kitu TWR-PXS20 a převodníku USB2CAN se softwarem PP2CAN. Formát těchto zpráv a význam jednotlivých bajtů je uveden v neveřejné příloze této práce.

Po odeslání zprávy pro aktivování diagnostického režimu následuje zpráva pro aktivování čerpadla, otevření sacích ventilů (HSV) a uzavření přepouštěcích ventilů (TCV). Tento úkon trvá u všech intenzit brzdění stejně dlouhou dobu. Jedná se o 80 ms. Poté následuje zpráva pouze pro uzavření přepouštěcích ventilů. Čerpadlo je vypnuté a sací ventily otevřeny. Intenzita brzdného momentu je modulována pomocí zpoždění mezi těmito příkazy. Časy zpoždění jsou uvedeny v tabulce 5.6.

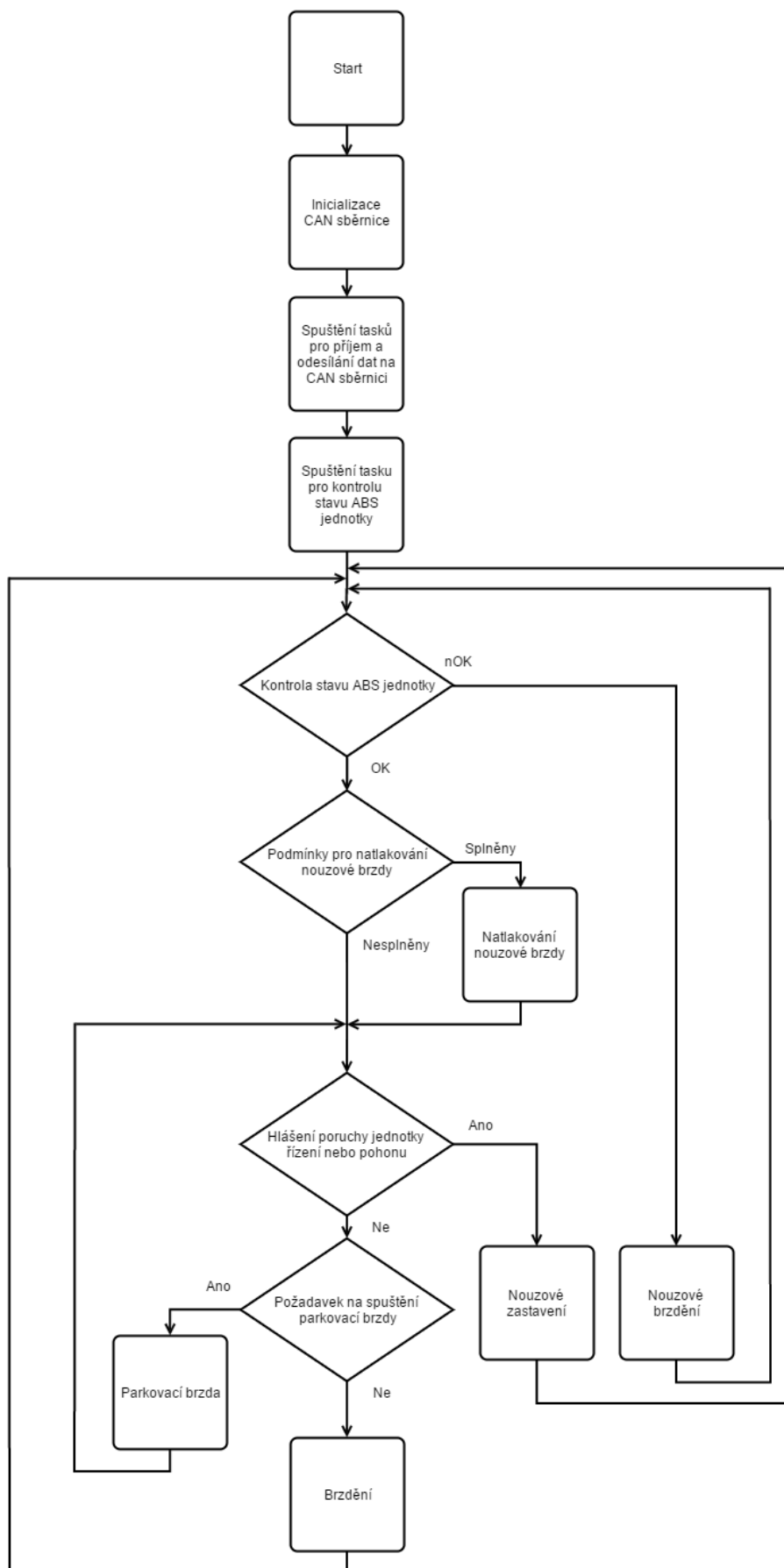
Zjednodušený běh celého aplikačního softwaru je zobrazen na obrázku 5.3. Smyčka intenzit brzdění je na obrázku 5.4.

*Tabulka 5.6 Zpoždění*

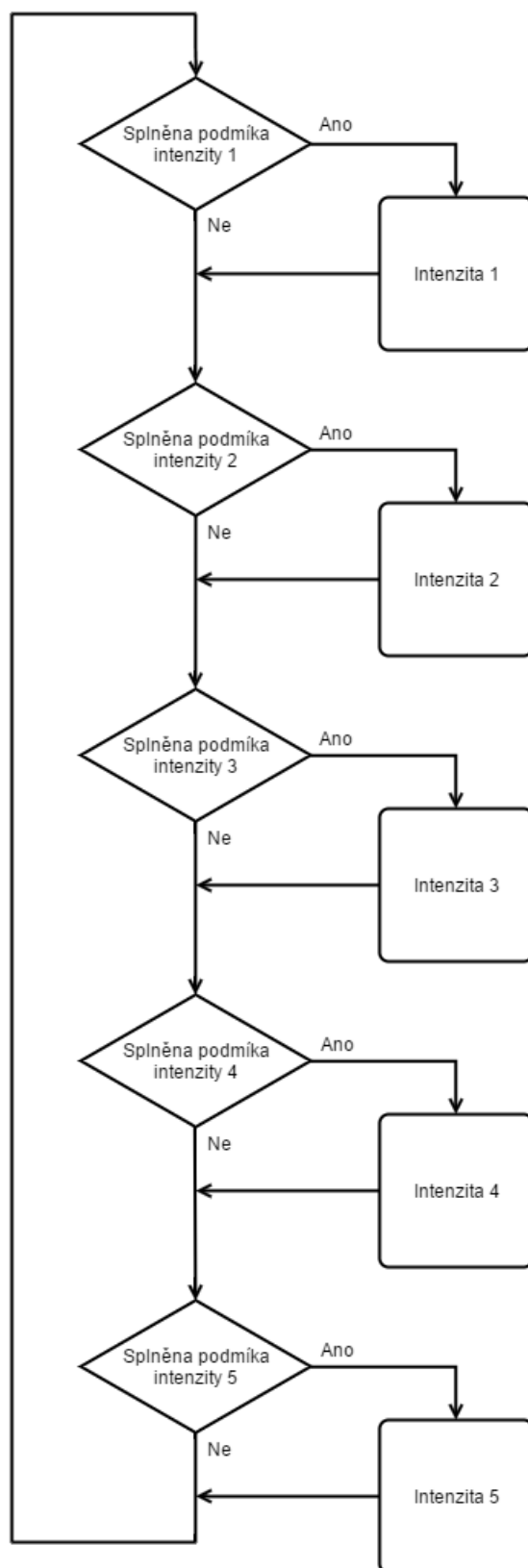
Intenzita 1	Intenzita 2	Intenzita 3	Intenzita 4	Intenzita 5
5315 ms	5290 ms	5265 ms	5240 ms	5215 ms

Aplikační software řeší tyto situace:

- 5 stupňů intenzit brzdění,
- Parkovací brzda,
- Příjem z vysílačky,
- Příjem o stavu DCU a SCU,
- Příjem rychlosti motorů z DCU,
- Kontrola stavu ABS jednotky,
- Odesílání ostatním jednotkám informací o stavu BCU,
- Natlakování nouzové brzdy.



Obrázek 5.3 Vývojový diagram aplikačního softwaru



Obrázek 5.4 Vývojový diagram intezit brzdění

## 5.4 HW řešení

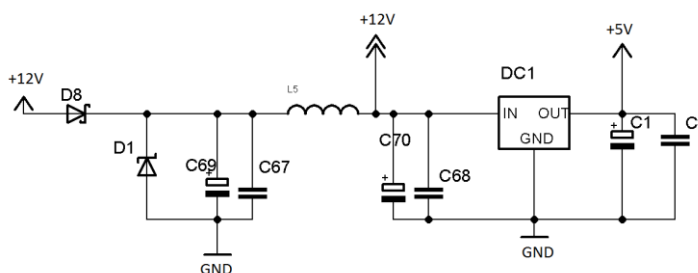
Návrh desky probíhal v programu Eagle 7.2.0. Nejprve bylo sestaveno obvodové schéma desky. Na jeho základě byla navržena deska plošných spojů, která je dvouvrstvá se součástkami určenými pro povrchovou montáž (SMD). Výroba DPS byla zadána specializované firmě. Poté v laboratorních podmínkách bylo provedeno ruční osazení desky s využitím mikropáčky a horkovzdušné pájecí stanice. Z důvodu požadavku na kompaktní rozměry byly vybírány součástky a integrované obvody typu SMD.

### Napájecí zdroje

Prvním obvodem napájecí části je DC/DC konvertor TSR-1-2450. Vyniká vysokou účinností až 96% a umožňuje vysoké provozní zatížení až k teplotám +60 °C bez nutnosti použití chladiče. Druhým obvodem upravujícím hodnotu napětí je regulátor napětí LE33CD.

Základní parametry použitého měniče.

- Vstupní napětí: 6,5 až 36 V DC
- Výstupní napětí: 5 V DC
- Výstupní proud: max 1 A
- Klidový proud: 0,002 A
- Účinnost: 96%
- Teplotní rozsah: -40 až +125 °C



Obrázek 5.5 Schéma zapojení DC/DC měniče TSR 1-2450

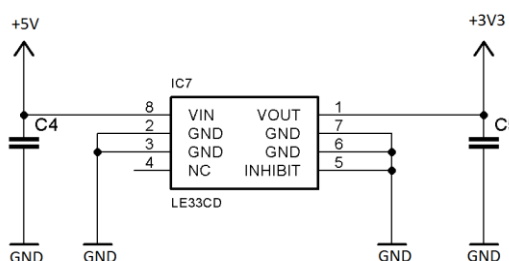
Na obrázku 5.5 je uvedeno zapojení DC/DC měniče. Dioda D8 slouží jako ochrana proti přepólování na vstupu. Transil D1 chrání proti napěťovým špičkám. Všechny kondenzátory jsou zapojeny dle doporučení výrobce, taktéž i cívka.

Základní parametry použitého regulátoru napětí.

- Vstupní napětí: max. 18 V
- Výstupní napětí: 3,234 až 3,366 V

- Výstupní proud: max. 100 mA
- Teplotní rozsah: -40 až +125 °C

Na obrázku 5.6 je uvedeno zapojení regulátoru. Toto jednoduché zapojení se skládá ze samotného regulátoru a filtračních kondenzátorů na straně vstupu a výstupu.



Obrázek 5.6 Schéma zapojení regulátoru napětí LE33CD

## Řídicí část

Mikrokontrolér PPC5643L s jeho pomocnými součástkami je srdcem celé jednotky. Schéma zapojení mikrokontroléru je uvedeno z důvodu přehlednosti v příloze.

Vlastnosti použitého mikrokontroléru a jeho popis je uveden v kapitole 4.7. Proto zde nebudou opakovaně uváděny. Další informace jsou v případě potřeby uvedeny v literatuře [8]. Pouzdro mikrokontrolérového obvodu je 144 LQFP. Je to SMD pouzdro s roztečí nožek 0,5 mm, které oproti BGA pouzdrům klade nižší nároky při ručním osazení DPS.

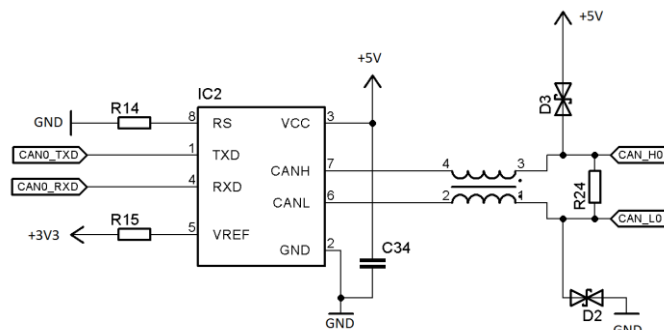
## Komunikační část

CAN sběrnice je nejčastěji využívaným komunikačním rozhraním v automobilovém průmyslu. Proto je i vozidlo DemoCar vybaveno touto sběrnicí. Na jednotce jsou dvě nezávislé CAN sběrnice. Mikrokontrolér obsahuje řadiče, které jsou doplněny budiči, terminátory, filtrační tlumivkou a dalšími diskretními komponenty. Budič sběrnice signály CAN\_RXD a CAN\_TXD (vysílací a přijímací z procesoru) upravuje na normované úrovně napětí pro CAN.

Základní parametry použitého budiče.

- Napájecí napětí: 4,5 až 5,5 V
- Napájecí proud: max. 170  $\mu$ A
- Zpoždění: 50 ns
- Teplotní rozsah: -40 až 125 °C

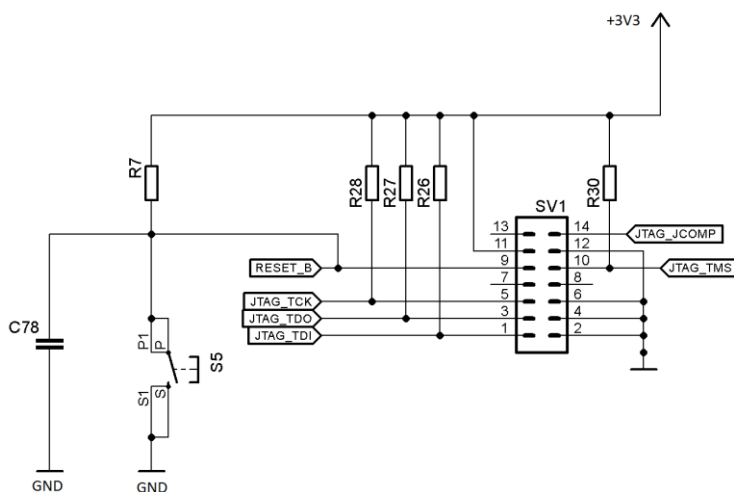
Na Obrázku 5.7 je uvedeno zapojení budiče. Rezistor R24 je ukončovací rezistor sběrnice s typickou velikostí 120  $\Omega$ . Filtrování signálu zajišťuje tlumivka. Transily D2, D3 slouží jako ochranné prvky. Pro obě sběrnice (CANcontrol, CANabs) je použito identického zapojení budiče.



Obrázek 5.7 Schéma zapojení CAN budiče

## Programovací port

Pro nahrávání a ladění programu slouží programovací port. K tomuto se využívá externího programátoru USB Multilink Universal Programmer. Jeho umístění na desce se jeví jako nevýhodné v případě zapouzdření jednotky. Jako řešení se nabízí vyvedení programovacích pinů na hlavní konektor jednotky.

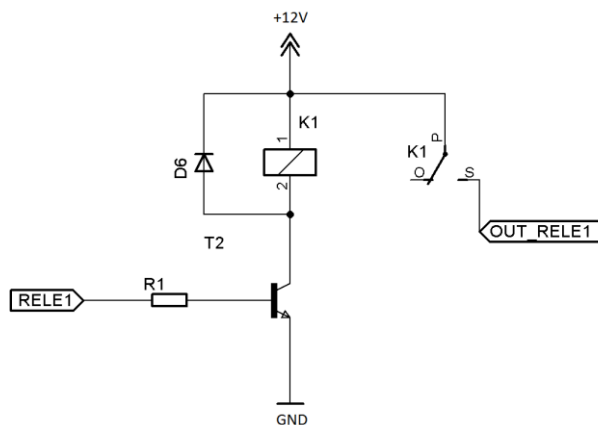


Obrázek 5.8 Schéma zapojení JTAG programovacího portu

Na obrázku 5.8 je uvedeno schéma zapojení JTAG portu. Rozložení pinů je přizpůsobeno používanému programátoru. Dále je možné na schématu vidět i resetovací tlačítko. Popsané vodiče vedou přímo na piny mikrokontroléru.

## Reléové koncové stupně

Pro potřeby spínání napájecího napětí k rozvaděčům nouzové brzdy je využito relé. Jeden pin ovládací cívky relé je na potenciál 12 V DC připojen trvale a za pomoci tranzistoru NPN je spínán zemnicí potenciál. Báze tranzistoru je přes předřadný rezistor připojena k digitálnímu výstupnímu pinu mikrokontroléru.



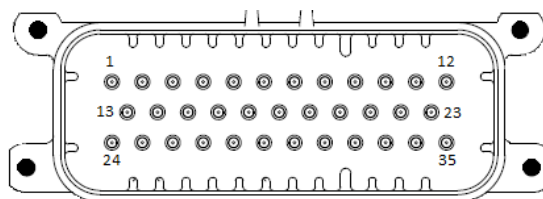
Obrázek 5.9 Schéma zapojení reléových koncových stupňů

## Konektor

Jak už bylo uvedeno v kapitole 4.7, na vozidle se používá konektor AMPSEAL. Tento konektor slouží pro propojení s ostatními jednotkami a připojení k napájení. Jedná se o 35pinový konektor používaný v automotive aplikacích.

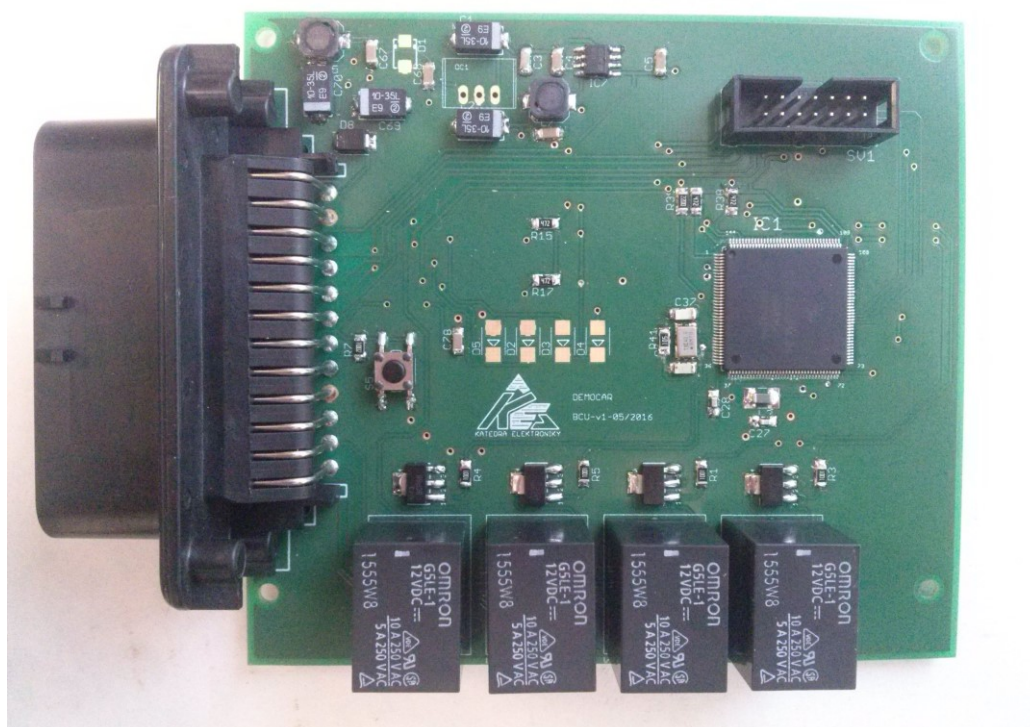
Tabulka 5.7 Pinout konektoru AMPSEAL

Pin	Funkce	Pin	Funkce	Pin	Funkce
1	U <sub>cc</sub>	13	U <sub>cc</sub>	24	U <sub>cc</sub>
2	GND	14	GND	25	GND
9	GND	15	CAN_L0	26	CAN_H0
11	OUT_RELE_2	16	CAN_H1	27	CAN_L1
12	OUT_RELE_1	21	GND	29	+3V3
---	---	22	OUT_RELE_4	32	GND
---	---	23	OUT_RELE_3	---	---

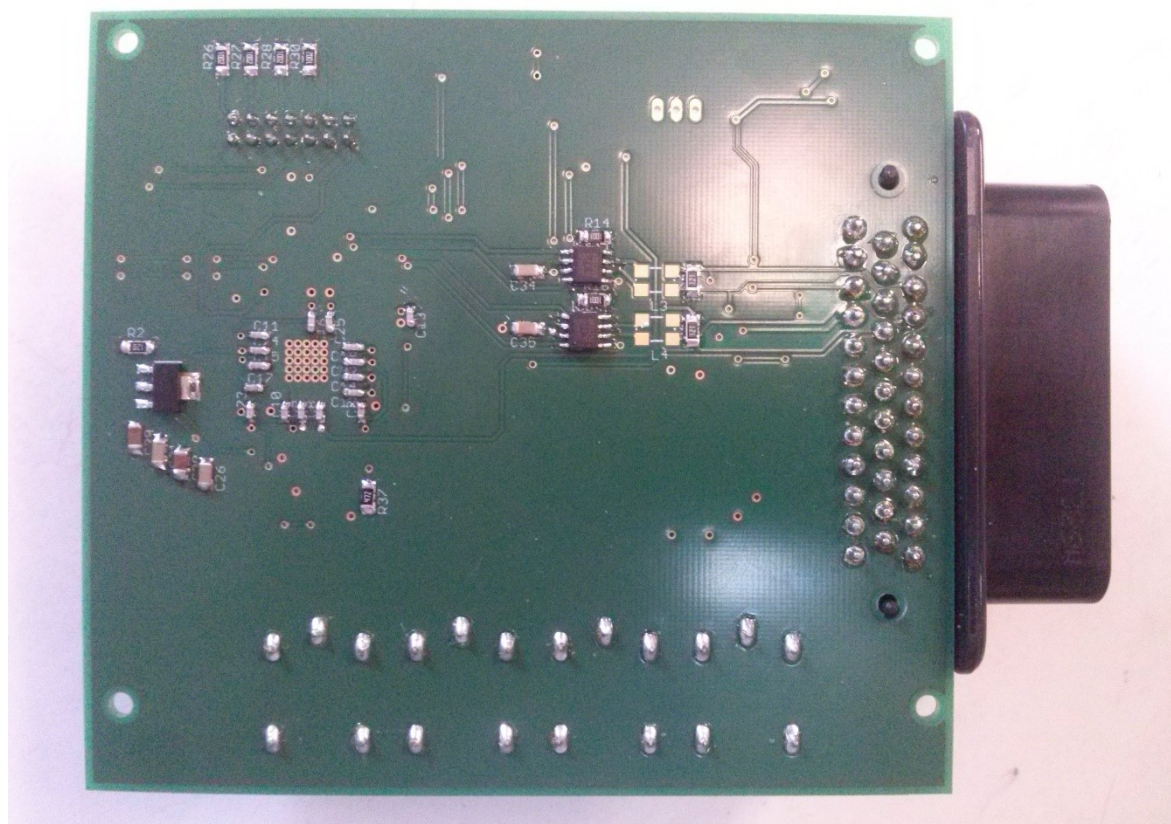


Obrázek 5.10 Konektor AMPSEAL





Obrázek 5.11 Realizovaná deska BCU - top



Obrázek 5.12 Realizovaná deska BCU - bottom

## 5.5 Ověření funkce

Již během samotného vývoje byla průběžně ověřována funkčnost a to z hlediska správného řešení struktury a funkcí aplikačního softwaru. Protože v průběhu vývoje nebyla k dispozici jednotka BCU, sloužil k otestování vývojový kit TWR-PXS20. Pro otestování komunikace s ostatními jednotkami byla použita jednotka LCU.

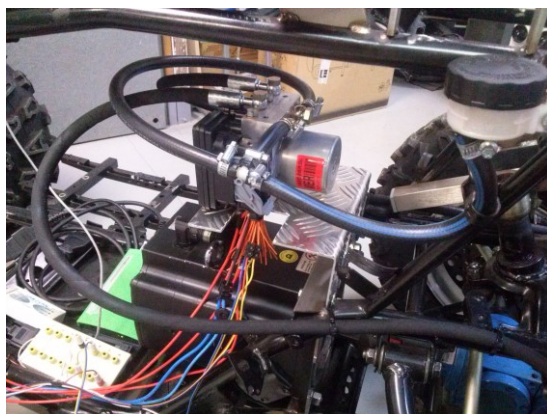
Nejprve byly všechny komponenty namontovány na vozidlo DemoCar (obrázek 5.13, 5.14, 5.15, 5.18). Poté bylo přistoupeno k odvzdušnění brzdového okruhu. Z důvodu absence brzdového pedálu, který vytváří tlak při odvzdušňování v brzdovém okruhu, byl pro tento úkon vyroben přípravek (obrázek 5.16). Přípravek se skládá z víčka od nádoby brzdové kapaliny a ventilku. Tento přípravek se umístil na nádobku brzdové kapaliny a vzduchovým kompresorem byl vháněn vzduch. Vytvářený tlak se v brzdové soustavě pohyboval v rozmezí 0 až 4 bary (obrázek 5.17). Zároveň byly na ABS/ASR/ESP modulu spínány elektromagnetické ventily a spouštěno čerpadlo.



Obrázek 5.13 Kolo s kotoučovou brzdou



Obrázek 5.14 Kotoučová brzda



Obrázek 5.15 Umístění ABS jednotky



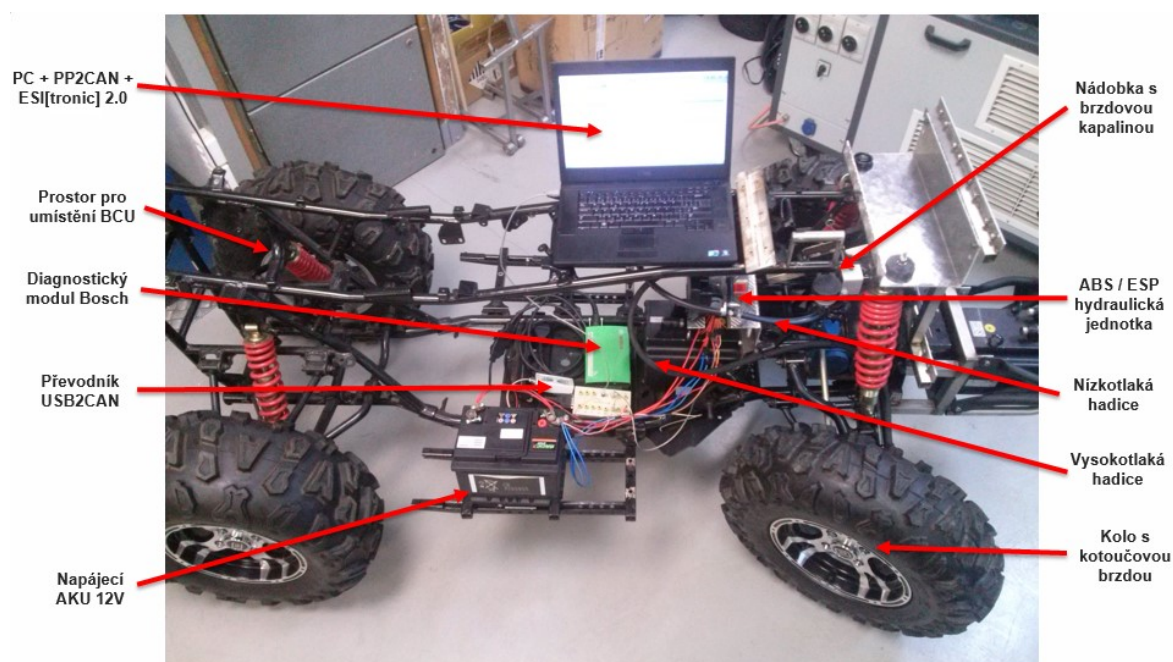
Obrázek 5.16 Přípravek pro odvzdušnění



Plak vytvářený při odvzdušnění byl sledován pomocí připojeného diagnostického zařízení.



Obrázek 5.17 Plak při odvzdušňování



Obrázek 5.18 Popis umístění komponent

Poté se přistoupilo k nahrání aplikačního softwaru do BCU. Komunikace na sběrnici byla kontrolována skrze převodník USB2CAN a v závislosti na příkazech, které byly prováděny jednotkou. Zároveň byly sledovány hodnoty globálních proměnných v prostředí CodeWarrior (obrázek 5.19). Tyto proměnné mají vypovídající hodnotu o aktuálním běhu programu.

Name	Value	Location
drive_fault	0	0x4000125c Virtual
transmitter_7	0	0x40001260 Virtual
k	0	0x40001254 Virtual
check_abs	0	0x4000125d Virtual
i	0	0x40001250 Virtual
abs_response	11	0x400011a8 Virtual
steering_fault	0	0x4000125f Virtual
torque_want	0	0x40001258 Virtual
velocity	0	0x4000125a Virtual
MQX_init_struct	0x40001140	0x40001140 Virtual

Obrázek 5.19 Hodnoty vybraných globálních proměnných v CodeWarrioru

Chyba ABS/ASR/ESP modulu byla nasimulována jeho odpojením od napájení. V ten okamžik BCU začala vysílat na sběrnici ostatním jednotkám tuto informaci. Po jeho opětovném připojení na napájení se tento stav opět promítl správnou informací odesílanou na sběrnici.

Nu...	Received time	Type	Id 1	Id 2	Bytes	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	
19	13:30:57.27...	St	140		8	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	13:30:56.27...	St	140		8	0	0	0	0	0	0	0	0	
17	13:30:55.27...	St	140		8	0	0	0	0	0	0	0	0	
16	13:30:54.27...	St	140		8	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	13:30:53.27...	St	140		8	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	13:30:52.27...	St	140		8	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	13:30:51.27...	St	140		8	0	0	0	120	0	0	0	0	
12	13:30:50.26...	St	140		8	0	0	0	120	0	0	0	0	
11	13:30:49.26...	St	140		8	0	0	0	120	0	0	0	0	
10	13:30:48.27...	St	140		8	0	0	0	120	0	0	0	0	
9	13:30:47.27...	St	140		8	0	0	0	120	0	0	0	0	
8	13:30:46.27...	St	140		8	0	0	0	120	0	0	0	0	
7	13:30:45.27...	St	140		8	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	13:30:44.27...	St	140		8	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	13:30:43.27...	St	140		8	0	0	0	0	0	0	0	0	

Obrázek 5.20 Zachycená komunikace na sběrnici CANcontrol

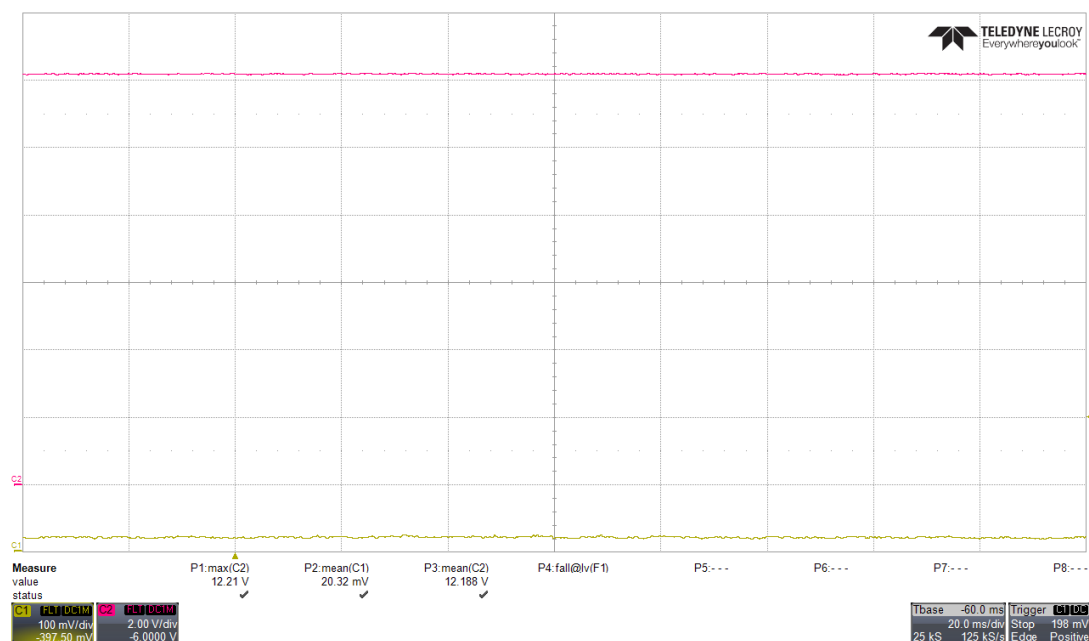
Zároveň při všech ověřovacích testech, byly sledovány na sběrnici CANabs odpovědi hydraulické jednotky.

Nu...	T	Received time	Type	Id 1	Id 2	Bytes	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	
5	I..	18:9:24.261...	St	2009		8	3	112	16	2	0	0	0	0	
4	I..	18:9:24.204...	St	2009		8	3	127	48	120	0	0	0	0	
3	I..	18:9:22.304...	St	2009		8	2	80	144	0	0	0	0	0	
2	I..	18:9:4.155...	St	2009		8	3	112	16	2	0	0	0	0	
1	I..	18:9:4.980...	St	2009		8	3	127	48	120	0	0	0	0	
0	I..	18:9:2.688...	St	2009		8	2	80	144	0	0	0	0	0	

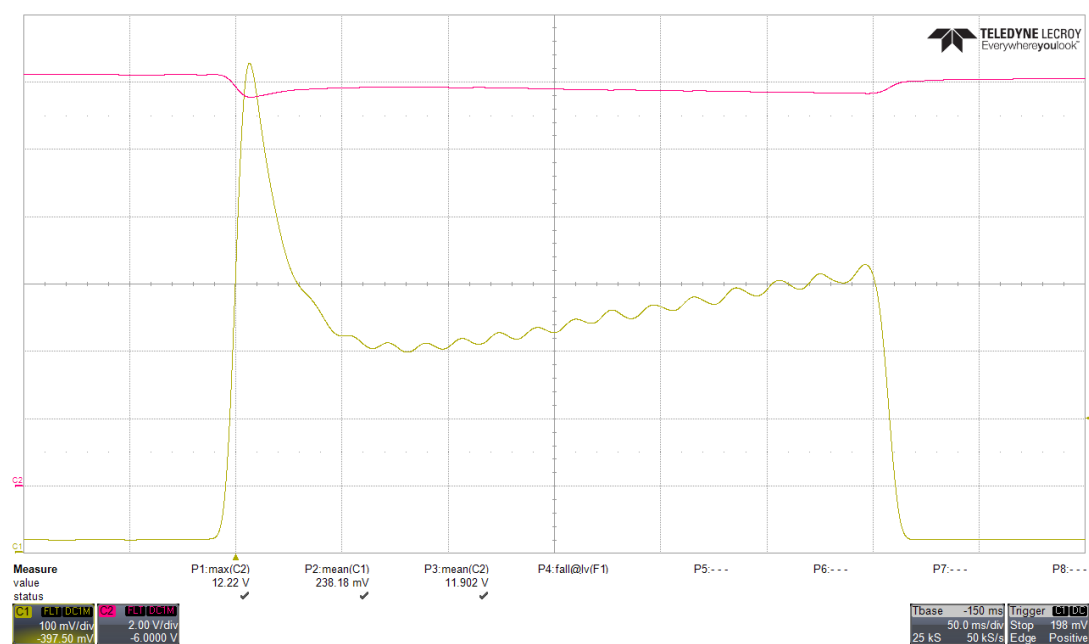
Obrázek 5.21 Odpovědi ABS jednotky

Takto byly ověřeny všechny funkce aplikačního softwaru. Při testech vozidla DemoCar na válcové zkušebně, a později opětovně mimo válcovou zkušebnu, došlo k poškození převodovek, které bohužel nastalo ve fázi dosud neukládaných výsledků. Toto přineslo komplikace pro další ostré testování brzdového systému. Po dohodě s vedoucím diplomové práce byly zastaveny veškeré další experimentální provozní testy (zejména se v našem případě jedná o ověření intenzity brzdění) až do doby nalezení důvodu poškození převodovek pohonu vozidla.

V neposlední řadě bylo provedeno měření proudových odběrů při všech možných situacích spínání elektromagnetických ventilů a elektromotoru čerpadla. Toto měření bylo uskutečněno pomocí osciloskopu a proudových kleští. Proudové kleště měly vstupní převodní poměr nastaveny na 10 mV/A. Na obrázku 5.22 a 5.23 jsou uvedeny průběhy při klidovém stavu a při aktivaci parkovací brzdy. Ostatní průběhy s popisem jsou uvedeny v příloze. Proudový odběr při klidovém stavu se pohybuje kolem 2 A a při aktivaci parkovací brzdy je rozsah odběru proudu v rozmezí 30 až 40 A.



Obrázek 5.22 Klidový režim



Obrázek 5.23 Aktivace parkovací brzdy

---

## 6 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout a realizovat funkční brzdovou soustavu demonstračního vozidla DemoCar s využitím homologovaných automobilových komponentů. Přičemž součástí řešení je také vývoj nové řídicí jednotky brzd a návrh systému bezpečnostní brzdy (pro případ totálního výpadku napájení, popř. ztráty říditelnosti vozidla). Tento realizovaný brzdový systém spolupracuje při brzdění se systémem pohonu. V rámci této spolupráce při požadavku na brzdění jsou aktivovány brzdy a zároveň se brzdí elektromotory. Spolupráce není omezena jen na jednotku pohonu, ale spolupracuje nebo je připravena na spolupráci i s jednotkou řízení, osvětlení, napájení a jednotkou centrální elektroniky.

Brzdová soustava zajišťuje funkci provozní brzdy a funkci parkovací brzdy. Nouzová brzda je pouze ve stádiu návrhu. Tato zrealizovaná brzdová soustava zajišťuje bezpečné zastavení nejen v případě požadavku z vysílačky od uživatele, ale i při poruchovém stavu ostatních elektronických systémů vozidla. Pouze situace zapříčiněná poruchou na řídicí jednotce brzd nebo ABS / ASR / ESP modulu není dovedena do fáze realizace. V této situaci je možné zastavení vozidla jen za pomoci elektromotorů. Řešením této situace je realizace navržené nouzové brzdy, kterou se bude zabývat navazující bakalářská, popř. diplomová práce.

První část se zabývá teoretickým popisem brzdových komponent a asistenčních systémů pro získání přehledu a informací pro následné využití při zpracování této práce. Následující kapitola se zaměřuje na funkci ABS a její akční člen s ohledem pro využití na vozidle DemoCar. Poté následuje uvedení základního popisu vozidla a výčet všech jeho elektronických systémů se stručným popisem jejich funkčnosti. Uvedení těchto systémů a jejich znalost je důležitá při vytváření jejich vzájemné spolupráce. Pasáž návrhu se zabývá koncepčním řešením celé elektrohydraulické brzdové soustavy. Toto zahrnuje výběr komponent brzdového systému, jejich analýzou, návrh řídicí jednotky a návrh nouzové brzdy. V kapitole realizace je popsán vývoj aplikačního softwaru a realizace hardwaru.

Výstupem této práce je funkční brzdová soustava vozidla DemoCar. S ohledem na dosažené výsledky lze konstatovat, že jsou úspěšně splněny všechny body zadání.

---

## Použitá literatura

- [1] VLK, F.: *Podvozky motorových vozidel*, Brno, Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 464 s., 2006. ISBN 80-239-6464-X.
- [2] BOSCH, R.: *Bezpečnostní a komfortní systémy*. Robert Bosch GmbH, 56 s., 1998. ISBN 80-902585-9-X.
- [3] BOSCH, R.: *Regulace jízdní dynamiky ESP*, Robert Bosch GmbH, 64 s., 1998. ISBN 80-902585-8-1.
- [4] FUCHS-OIL. [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.fuchs-oil.cz/>
- [5] SKOPAL, L.: *Asistenční systémy – protiblokovací systém ABS*. Ostrava, 2012, Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Petr Šimoník, Ph.D.
- [6] AUTOLEXICON. [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/>
- [7] BOSCH. [online]. [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: [www.bosch.cz](http://www.bosch.cz)
- [8] JAHN, O.: *Návrh a realizace osvětlovací soustavy demonstračního vozidla s elektrickým pohonem*. Ostrava, 2014, Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Petr Šimoník, Ph.D.
- [9] TUDJA, A.: *Návrh a realizace brzdové soustavy demonstračního vozidla s elektrickým pohonem*. Ostrava, 2014, Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Petr Šimoník, Ph.D.
- [10] NXP. [online]. [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: [www.nxp.com](http://www.nxp.com)
- [11] *TWR-PXS20 User Guide*. [Uživatelská příručka] Axiom Manufacturing, 2011. DOC-0559-010, rev A.
- [12] *Freescale MQX Real-Time Operating System*. [Uživatelská příručka] Freescale, 2012.
- [13] DULANSKÝ, D.: *Sestavení funkční koncepce a vývoj aplikačního software elektronického systému servořízení elektromobilu Democar*. Ostrava, 2016, Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Petr Šimoník, Ph.D.
- [14] WOLF, O.: *Sestavení funkční koncepce a vývoj aplikačního software elektronického systému pohonu 4x4 elektromobilu Democar*. Ostrava, 2016, Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Petr Šimoník, Ph.D.

---

## Seznam příloh

Příloha A – Schéma zapojení řídicí jednotky brzd

Příloha B – Neveřejná příloha

Příloha C – Fotodokumentace

Příloha D – Průběhy z osciloskopu